

WIEDZA WSPÓŁCZESNA — TOM I.

# ENERGJA SŁONCA

NAPISAŁ

MARCIN ERNST

H. ALTENBERG

KSIEGARNIA WYDAWNICZA WE LWOWIE

M 5 d

43532

I

Mr. Bernacki

Lwów 1934



Z DRUKARNI „DZIENNIKA POLSKIEGO“ LWÓW, UL. CICA L. 5.  
TELEFON NR. 283.

## ROZDZIAŁ I.

Wstęp.—Cyrkulacja powietrza.—Cyrkulacja wody.—Procesy życiowe.—Akumulatory energii słonecznej.—Magnetyzm ziemski.—Zjawiska wulkaniczne i trzęsienia ziemi.—Ciała promieniotwórcze.

Gdy słońce w swym pozornym biegu rocznym na niebie najbardziej oddali się od równika ku południowi, dla miejscowości, położonych na północnej półkuli ziemi, zaczyna się zima astronomiczna. Dzień ten ze wszystkich dni roku jest najkrótszy, a idąca po nim noc jest ze wszystkich nocy najdłuższa.

Ale jest to dzień przesilenia, obchodzony przez ludy pogańskie jako zwycięstwo światła nad ciemnością, dobrego nad złem. Bo po tym najkrótszym dniu wszystkie następne są już dłuższe i coraz dłuższe — i chociaż nieraz jeszcze wichy północny mrozem dmuchnie i śniegiem sypnie, to jednakże wzrastający powoli dzień i coraz częstsze przerwy w chmurach, w których jaśnieje pogodnie, wesołe oblicze słońca, mówią nam, że zbliża się wiosna, która zbudzi przyrodę z ponurego snu zimowego. A potem przyjdzie upalne lato, i człowiek zbierać będzie owoce swej pracy z pól, ogrodów i sadów.

Nie potrzeba wielkiej spostrzegawczości ani głębokiego wnikania w zjawiska przyrody, aby zauważyć, jak ścisły związek łączy życie ludzkie ze słońcem. Każdy wie, że swem światłem promienistym budzi nas ono

ze snu i każe pracować wtedy, gdy oko nasze zdolność swą widzenia przy świetle wyzyskać może; a kto śpi we dnie, a w nocy zajęciom lub zabawom się oddaje, o tym powiadamy z całą słusnością, że żyje w sprzeczności z przyrodą. Ale jest ono także regulatorem całego życia ludzkiego przez perjodycznie powtarzające się pory roku i wymierzane niemi, płynące wciąż naprzód lata.

A w tych latach wszystko się zmienia, jedno tylko słońce zdaje się być niezmiennem, wiecznie młodem i nieśmiertelnem.

Naturalnie ktoś bardzo mało uświadomiony mógłby sądzić, że słońce nawet w ciągu roku podlega znacznym zmianom. Wschodzi ono codziennie, tak w zimie jak i w lecie, a przecież w zimie są mrozy, w lecie zaś upały; stąd możnaby wnioskować, że gorącem jest tylko letnie słońce, a zimowe jest zimne.

Otóż nie wchodząc w zawiłe zagadnienia meteorologiczne, mające na celu zbadanie wszystkich czynników, które decydują o tem, jaką jest temperatura powietrza w danej chwili, lecz stojąc na stanowisku czysto astronomicznem, można powiedzieć, że słońce jest zawsze sobą i obdziela nas zawsze jednakowo. Ale wyraz „nas“ należy rozumieć nieco obszerniej: należy przez niego rozumieć cały nasz glob ziemski oraz wszystkie jestestwa, na nim żyjące. Bo gdy u nas dni są krótkie i zimne, a zimniejsze jeszcze długie noce, to w tym samym czasie na półkuli południowej ziemi, t. j. w Ameryce południowej, Afryce lub Australji, lato upalne rozstacza dokoła cały swój przepych, a gdy do nas powraca wiosna i lato, tam przyroda zapada w sen zimowy.

Oczywiście gdy weźmiemy pod uwagę poszczególne części powierzchni ziemi, to przyznać musimy, że są miejsca bardziej przez słońce uprzywilejowane, są też inne, bardziej pokrzywdzone. Ale tu winne nie jest



słońce, lecz położenie osi obrotu ziemi, a całoroczny cykl zmian pogody na ziemi oraz podział ziemi na kilka wyraźnie odgraniczonych stref klimatycznych jest wynikiem tak drobnej na pozór okoliczności, że płaszczyzna drogi, którą ziemia przebiega dokoła słońca, tworzy z płaszczyzną równika ziemskiego kąt wielkości  $23\frac{1}{2}$  stopni. Zresztą życie tak się układa na ziemi, posłuszne warunkom, w których się rozwija, że nie za zdrości mieszkaniem ponurej północy lazurowego nieba Włochom, a sosna, śnieżnym puchem okryta, palmie skwarów pustyni.

Już człowiek pierwotny w czasach zamierzchłych widział w słońcu najpotężniejsze zjawisko przyrody, niewyczerpane źródło dobroczynnej siły. Dzięki tej sile dobroczynnej jasność stała się symbolem dobra i piękna, a ciemność — symbolem zła i brzydoty. Święta, obchodzone przez różne ludy starożytne, były to święta słońca. Obchodzono je zawsze w dniach, w których odwieczny cykl zmian wskazywał zwycięstwo jasnego boga życia nad złymi demonami nocy i śmierci. Są to chwile, które astronomja naukowa przyjmuje za początek czterech pór roku. Ale i daty najważniejszych świąt chrześcijańskich nie oddalają się bardzo od tych dat astronomicznych, co wskazuje na ich ścisły związek ze staroświeckim kultem słońca.

Czyż jest coś łatwiejszego do zrozumienia? Jeżeli człowiek pierwotny, czyniąc zadość wrodzonej potrzebie swej duszy, szukał sobie boga, aby się do niego modlić, to czyż mógł on wynaleźć coś wyższego, jak słońce, w którym przeczuwał lub dostrzegał istotę i źródło życia?

Ale dopiero badania naukowe ostatniego stulecia pozwoliły nam głębiej wnikać w przyrodę słońca i poznać jego rolę, jako jedynego motoru nie tylko życia, ale prawie wszystkich zjawisk, które w niezliczonej liczbie zachodzą bez przerwy na ziemi, a w rzeczywistości

są tylko coraz nowemi przejawami energii, która płynie ku nam od słońca.

Długie wieki ludzkość, przyjmując pozór za rzeczywistość, uważała ziemię za środek świata, a siebie za cel jego istnienia. Kopernik dopiero wykazał, że słońce jest największem pośród ciał naszego układu planetarnego i zajmuje w nim miejsce środkowe, że zatem ziemia jest tylko jednym z szeregu ciał, tworzących jakby jedną rodzinę, które, równie jak ona, mają prawo grzać się przy wiecznie płonącym zniczu słońca. Od tego znicza dzieli ziemię odległość, wynosząca średnio 149 500 000 km, która zmienia się z powodu eliptycznego kształtu drogi ziemskiej w granicach 2 500 000 km mniej lub więcej.

W słońcu tkwi siła, która nie pozwala planetom oddalać się od niego, i zmusza je do zakreślania dokoła słońca dróg zamkniętych w ściśle określonych okresach czasu. Siedliskiem siły podobnej jest ziemia i każde inne ciało niebieskie. Newton, który istnienie tej siły wykazał i który nazwał ją ciążeniem powszechnem, pierwszy również wygłosił tę prawdę, że natężenie tej siły jest proporcjonalne do masy ciała, będącego jej siedliskiem. Na tej podstawie można było wyznaczyć masę słońca, która przewyższa masę ziemi przeszło 333 000 razy, a masę połączoną wszystkich planet 750 razy. Pod względem objętości słońce przewyższa ziemię 1 300 000 razy.

Gdy wyłączymy ruch roczny ziemi, jako całości, który jest bezpośrednim objawem przyciągania przez słońce, i weźmiemy pod uwagę zjawiska, zachodzące na samej ziemi, to nie trudno stwierdzić, że wszystkie one prawie bez wyjątku, mają swe źródło w energii, którą słońce przesyła ziemi w postaci promieni światła i ciepła.

Rozpatrzmy z tego punktu widzenia szereg najważniejszych zjawisk ziemskich.

Do najpotężniejszych motorów w stosunkach ziemskich, a zarazem do zjawisk najpospolitszych, należą wiatry. Są to prądy powietrzne, które powstają pod działaniem ciepła słonecznego.

Ponieważ ziemia jest kulą, więc zawsze jedna jej półkula zwrócona jest ku słońcu, druga zaś od słońca odwrócona. Obrót ziemi dokoła osi sprawia, że coraz to inna część powierzchni ziemi zwraca się ku słońcu; tam gdzie słońce znajduje się nad poziomem, mieszkańcy mają dzień. Oczywiście najsilniejsze jest działanie promieni słonecznych tam, gdzie kierunek ich do powierzchni ziemi jest prostopadły, t. j. na środku oświetlonej półkuli; słabnie to natężenie w miarę zbliżania się do granicy półkuli oświetlonej i nieoświetlonej. Oś ziemską jest tak położona, że tylko w t. zw. strefie międzyzwrotnikowej, rozciągającej się po obu stronach równika na odległość  $23\frac{1}{2}$  stopni, słońce może znajdować się w zenicie, t. j. wprost nad głową. Skutkiem tego strefa międzyzwrotnikowa jest najgorętszą częścią powierzchni ziemi, a inne okolice ziemi tem mniej otrzymują ciepła słonecznego, im bliżej znajdują się biegunów. Jakie są skutki takiego stanu rzeczy, widzimy to w stopniu dostatecznym w różnicach klimatów różnych okolic ziemi. Aczkolwiek na klimat jakiejś okolicy składać się może poza tem jeszcze wiele innych czynników, to jednak najistotniejszym jest ilość promieni słonecznych, którą w ciągu roku ta okolica otrzymuje.

Gdy w danej chwili pewna półkula ziemi wystawiona jest na działanie promieni słonecznych, część tych promieni zostaje odbitą od powierzchni ziemi i uchodzi w przestwór, niosąc naszym siostrzycom planetarnym wiadomość o istnieniu planety ziemi: podobnie i my widzimy planety i księżyc tylko dzięki promieniom słońca, które one ku nam odbijają. Pozostała

część promieni powierzchnia ziemi pochłania i zamienia w ciepło.

Ciepło to powierzchnia ziemi udziela przylegającej do niej warstwie powietrza, które wskutek tego, według znanego prawa fizyki staje się lżejszem i wznosi się w górę. Powstaje w ten sposób wstępujący prąd powietrza ciepłego. Na jego miejsce zimniejsze, a zatem też cięższe powietrze wyższych warstw spływa ku dołowi, t. j. wytwarza się zstępujący prąd powietrza zimnego. Ponieważ, jak widzieliśmy, rozkład ciepła słonecznego, otrzymywanego przez ziemię, na różne jej części jest bardzo nierównomierny, więc i temperatura powietrza w różnych okolicach nie może być jednakową. Wskutek tego w atmosferze całej wytwarzają się prądy konwekcyjne, jako wyraz dążenia do wyrównania temperatury powietrza na całej ziemi. Ponieważ czynniki, od których rozkład ciepła słonecznego na ziemi zależy, działają stale jednakowo, więc wyrównanie temperatury powietrza nigdy nie dochodzi do skutku, a rezultatem jest tylko bezustanna cyrkulacja powietrza.

Powierzchnia ziemi wynosi  $510\,065\,000\text{ km}^2$ , a masa atmosfery ziemskiej w przybliżeniu równa się masie warstwy rtęci grubości 760 mm, pokrywającej całą powierzchnię ziemi; łatwo stąd obliczyć, że masa całej atmosfery wynosi  $5 \cdot 10^{14}\text{ kg}$ .<sup>1)</sup> Otóż całą tę olbrzymią masę energja promieni słonecznych w nieustanny wprowadza ruch i przerzuca ją z jednego krańca ziemi na drugi.

Jedne wiatry są gorące, gdy pochodzą z okolic równika, inne są zimne, gdy niosą z sobą lodowe tchnienie północy — ale jedno i drugie w równej mierze

<sup>1)</sup> Tak dla krótkości piszemy liczbę, w której po cyfrze 5 następuje 14 zer, t. j. liczbę 500 000 000 000 000. W dalszym ciągu tego sposobu pisania będziemy używali często.



są przejawem energii słońca. Jakie czynniki drugorzędne wpływać mogą na prędkość, kierunek i siłę wiatrów, jest to pytanie, którem zajmować się nie mamy potrzeby.

Zato wiele wymienićby można zjawisk, które z wiatrami w ścisłym znajdują się związku, albo wprost od wiatrów się wywodzą.

Wiatry, uderzając o wody oceanów, wprawiają je w ruch, który na powierzchni objawia się falowaniem. Gdy zaś fale podlegają działaniu wiatrów regularnych, dmących stale w jednym kierunku, to ulegają one temu stale działającemu naporowi i przenoszą się w tym samym kierunku. Powstają w ten sposób prądy morskie, które, jako szerokie rzeki, płynące w wodnym korycie, przenoszą od biegunów ku równikowi wodę zimną wraz z topniejącymi po drodze górami lodowymi, inne zaś zimnym stronom podbiegunowym niosą ogrzaną wodę z pod równika.

Geografia i klimatologia uczą nas, jak wielki wpływ na klimat wielu obszarów ziemi wywierają prądy morskie. Wiemy, jak dobroczynnie na klimat naszej części świata oddziałują morski prąd zatokowy (Golfström), który, przenosząc ciepło, nagromadzone w wodzie, z części międzyzwrotnikowych oceanu Atlantyckiego ku wybrzeżom Norwegji, oddaje je Europie w podarunku. Dzięki tej nadwyżce ciepła, nie należącemu się nam ze względu na szerokość geograficzną, klimat Europy jest znacznie łagodniejszy, aniżeli klimat Ameryki północnej w tych samych szerokościach geograficznych. Pozatem fale ciepłych prądów, stykając się z przylegającymi do nich warstwami powietrza, powodują wiatry drugorzędne, i stanowią jeden z głównych powodów powstawania cyklonów i antycyklonów, które, przenosząc się z oceanów na kontynenty, decydują o stanie pogody na tych obszarach, dokąd wpływ ich sięga.

W gruncie rzeczy i prądy morskie, podobnie jak wiatry, są wyrazem dążenia do wyrównania różnic temperatury na ziemi. Zużywa się tu energia promieni słonecznych na wykonanie olbrzymiej pracy mechanicznej przeniesienia niezmierzonych mas wody morskiej na odległość dziesiątków tysięcy kilometrów. Pewne wyobrażenie o tej pracy otrzymamy, gdy zważymy, że masa wody, nagromadzonej w oceanach, wynosi, według przybliżonego szacowania,  $10^{21}$  kg.

Tu zwrócić musimy uwagę na jedno z nielicznych zjawisk, występujących na ziemi, których przyczyną nie jest energia promienista słońca. Zjawisko to, znane pod nazwą przyływów i odpływów morskich, również polega na przemieszczeniu mas wodnych w oceanach, ale przyczyną jego jest przyciąganie grawitacyjne wody przez słońce i księżyc.

Skoro znaną jest nam istotna przyczyna wiatrów i prądów morskich, to jasne dla nas jest także, że jeżeli człowiek rozpina żagle na wiatr i każe mu pędzić okręty i łodzie, albo każe mu obracać śmigły wiatraka, lub jeżeli orkany i trąby powietrzne burzą całe miasta i wyrwywają największe drzewa z korzeniami, to wiatr wykonywa tu pracę, pożyteczną czy szkodliwą, zużywając energię promieni słonecznych.

Najdonioślejszą dla życia, a więc też najpożyteczniejszą pracą wiatru, jest zaopatrywanie w wodę oceanów całej ziemi drogą powietrzną.

Oceany i morza pokrywają  $\frac{3}{4}$  powierzchni ziemi. Na olbrzymiej tej powierzchni pod działaniem ciepła słonecznego odbywa się parowanie wody. Parę, nasycającą przylegające do wody warstwy powietrza, porywają wiatry i unoszą z sobą. Para, która przez prądy wstępujące przeniesioną została do wyższych, więc chłodniejszych warstw powietrza, zgęszcza się tam i tworzy chmury, które tak długo odbywają dalszą wę-

drówkę powietrzną, dopóki ta para w postaci deszczu, śniegu, gradu i t. p. nie spadnie na ziemię.

Wodę, wydzielającą się z powietrza, nazywamy opadami atmosferycznymi. W zjawisku tem, jak widzieliśmy, energja słońca w podwójnej występuje roli: raz jako ciepło, które wykonywa pracę zamiany wody na parę, drugi raz jako siła mechaniczna, która wykonywa transport wyparowanej wody. Zastanówmy się, jakie ilości energii wchodzi tu w grę.

Obliczenia, oparte na danych różnego rodzaju, prowadzą do wniosku, że ilość wody, zamieniana w ciągu roku na parę, wynosi  $66 \cdot 10^{13}$  metrów sześciennych. Na wykonanie takiej pracy potrzebna jest ilość ciepła, która wystarczyłaby, aby bryłę żelaza, objętości  $250\,000\text{ km}^3$ , a ważącą  $2 \cdot 10^{15}\text{ kg}$ , roztopić. Liczby te dają pojęcie o tem, jak potężną maszyną, pędzoną przez promienie słoneczne, jest atmosfera, skoro 660 biljonów cetnarów wody może podnieść na wysokość chmur, wynoszącą średnio około 5 km, i rozprowadzić po wszystkich zakątkach ziemi.

Skądkolwiek zdobywamy wodę, czy bezpośrednio z deszczu, czy z rzeki, ze źródła, czy z wodociągu, jest to zawsze woda morska, przeniesiona do nas przez promienie słońca. A bez tej wody wszystkie obszary lądowe ziemi byłyby jedną wielką pustynią. Bo woda stanowi jeden z niezbędnych warunków życia, roślinnego czy zwierzęcego.

Ale i rozwój życia społecznego, cywilizacji i nauki w wysokim stopniu zależy od tego, czy zaopatrywanie się w wodę, znajdującą niezliczone zastosowania w życiu prywatnem i w przemyśle, jest łatwe, czy też połączone z mniejszymi lub większymi trudnościami. Pierwszorzędne w tym względzie ma znaczenie możliwość korzystania z wód bieżących, jako arterji komunikacyjnych lub też potężnych źródeł energii mechanicznej.

Jest to zjawisko ciekawe, że gdy gdziekolwiek na ziemi z pary, przyniesionej przez wiatry, utworzy się kropelka wody, to natychmiast zjawia się w niej dążenie powrotu do tych wielkich zbiorowisk wodnych, od których swe pochodzenie wywodzi. I właśnie energia promieni słonecznych, co tę kropkę oderwała od żywiołu, którego była cząsteczką, i przeniosła na wielkie odległości, wyposażyła ją również w to dążenie do powrotu. Ponieważ energia jest niezniszczalną — tak brzmi prawo zachowania energii — więc energia promienista słońca w tym przypadku przemieniła się na energję potencjalną kropli wody, a ta znowu, w czasie powrotu kropli na łono oceanu, zamienia się na energję kinetyczną i mechaniczną, która wykonywa ściśle taką samą pracę, jaką wykonały promienie słońca, przenosząc kropkę w to miejsce, gdzie spadła na ziemię.

Z tych kropli tworzą się owe biliony cetnarów metrycznych wody, o których była mowa wyżej. Ilość pracy, którą one wykonywają, powracając do morza, nie da się ściśle obliczyć; można jednakże dla orientacji w przybliżeniu podać, ile ona conajmniej wynosi. Mianowicie, biorąc pod uwagę tylko pionowe wzniesienie pary wodnej na wysokość 5 km, a pomijając zupełnie transport poziomy, znajdujemy liczbę  $3,10^{20}$  kilogrammów, jako miarę pracy, którą woda ta, spadając na poziom morza, wykonywa. Naturalnie prawdziwa roczna praca wody jest znacznie większa.

Ilość wykonanej pracy zupełnie jest niezależna od drogi, którą woda, powracająca do morza, przebywa, a pod względem tej drogi i losów wody w tej drodze zachodzi taka różnorodność, jak rozmaitemi i niezliczonymi są zjawiska na ziemi, które zawdzięczamy działaniu wody.

Woda szuka zawsze najkrótszej drogi i najmniejszego oporu. Gdy może, wsiąka w ziemię i płynie podziemnymi szczelinami, gdzie, czy to dzięki swej zdol-



ności rozpuszczania wielu ciał, lub też działaniem mechanicznem żłobi podziemne groty i korytarze, aby w końcu, natrafiwszy na warstwy nieprzepuszczalne znowu w postaci źródła wydostać się na powierzchnię, ziemi. Płynąc dalej po powierzchni ziemi, żłobi ona sobie koryto, a siła jej jest tak wielką, że z biegiem czasu ulegają jej działaniu nawet najtwardsze ciała; przysłowie o kropli wody, która skały rozsadza, stanowi tylko realne stwierdzenie zjawiska, które stale zachodzi w przyrodzie.

Tu jednakże musimy przypomnieć, że pracę tę wykonywa nie woda, ale słońce, które ją w tę siłę uzbroiło. Więc pamiętajmy też o tem, że to energia słońca toczy korytami rzek olbrzymie bloki skalne, które po drodze ku morzu kruszy i szlifuje, rozciera na żwir i piasek, że to energia słońca za pośrednictwem rzek i wodospadów pędzi turbiny i koła młyńskie, ciągnie tratwy i ciężarowe łodzie i wykonywa tysiączne inne prace. Ta bezustanna praca rzek, której drobną cząsteczkę zaledwie dla swoich celów umie zużytkować człowiek, nie tylko rzeźbi potężnymi bruzdami powierzchnię ziemi, ale też w istocie góry, z dalekich lądów przeniesione, rzuca do morza i oceanom coraz inne brzegi wyznacza. To są sprawy, które stanowią przedmiot nader ciekawych badań geografów i geologów.

Im bardziej zawiłe są zjawiska zachodzące na ziemi, tem bardziej też urozmaicony jest udział promieni słonecznych w tych zjawiskach, zawsze jako jedynego źródła energii, niezbędnej do powstawania tych zjawisk.

Do najzawilszych zjawisk należą zjawiska życia organicznego. Pomijając kwestję powstania życia na ziemi, która dotąd wyjaśnioną nie jest, najistotniejsze warunki, w których zachodzi np. życie roślin, są następujące. W atmosferze ziemskiej, która, jak wiemy, jest mieszaniną tlenu i azotu, unosi się też zawsze pewna

ilość pary wodnej oraz stosunkowo nieznaczna domieszka bezwodnika kwasu węglowego, zwanego też dwutlenkiem węgla lub wprost kwasem węglowym. Parę, jak widzieliśmy, roznoszą po ziemi wiatry, pędzone przez energję słońca; kwas węglowy, który jest związkiem tlenu i węgla, jest produktem spalania węgla.

Jest rzeczą prawdopodobną, iż w tej epoce historii ziemi, gdy zewnętrzne warstwy ziemi ostygły na tyle, że pierwiastki pewne mogły się już łączyć w związki chemiczne, wszystek węgiel połączył się z innymi pierwiastkami, przede wszystkim zaś z tlenem. Z tego to kwasu węglowego czerpią organizmy żywe węgiel, t. j. materiał, który jest najbardziej zasadniczą częścią składową t. zw. ciał organicznych.

Gdy do komórki roślinnej przeniknie woda, albo wchłoniętą zostanie para wodna lub kwas węglowy, a zarazem padają na tę roślinę promienie światła, które ona pochłania, to energia chemiczna tych promieni daje impuls do niezliczonych reakcji chemicznych, które w komórkach rośliny zachodzą. Najistotniejsze z tych reakcji są następujące. Woda rozkłada się w pewnej części na wodór i tlen, a kwas węglowy na węgiel i tlen. Tlen uwolniony wraca do atmosfery, węgiel zaś tworzy związki przeważnie z wodorem i azotem, które stanowią materiał dla wzrostu rośliny.

Związki te rozpadają się znowu przez spalanie w powietrzu, albo też na przykład przez łączenie się z tlenem w organach oddechowych zwierząt. Rozpadowi temu towarzyszy wydzielanie się ciepła w ilości, równoważnej z tą ilością energii, która była potrzebna do wytworzenia tych obecnie podlegających rozpadowi związków. Innymi słowy, uwalnia się w ten sposób nagromadzona w ciałach organicznych energia słońca.

Często w skwarne dni letnie, gdy upał nas dręczy, i nawet w cieniu jakiegoś rozłożystego drzewa nie znajdujemy ochłody, słyszymy zdanie, że jakby to było do-

brze, gdyby można ten nadmiar ciepła słonecznego zgromadzić za pomocą jakiegoś akumulatora, aby go zużytkować w zimie, gdy srogie mrozy dawać się nam będą we znaki. W rzeczywistości tylko takim właśnie akumulatorom ciepła słonecznego zawdzięczamy, gdy w zimie jesteśmy w stanie w mieszkaniach naszych wytworzyć temperaturę, wyższą od temperatury powietrza zewnętrznego, albo pod „ciepłem“ ubraniem lub pod „ciepłą“ kołdrą nagromadzić taką ilość ciepła, jaka jest niezbędna dla naszego zdrowia i uniknięcia tej przykrości, którą nam sprawia brak ciepła.

Takim bowiem akumulatorem jest każda roślina, a szczególnie potężnymi te drzewa olbrzymy, w których komórkach gromadziła się energia słoneczna przez całe stulecia; tę więc nagromadzoną energję zużytkowujemy, gdy uwalniamy ją przez spalanie drzewa w piecu. Wszak nie byłoby ciepłem nasze ubranie ani nasza kołdra, gdyby się pod nimi nie gromadziło ciepło, wychodzące z naszego ciała. Ale to nasze ciepło, jak ciepło wszystkich innych organizmów zwierzęcych, to jest też właśnie energia słońca, uwolniona z tych akumulatorów organicznych, które wprowadziliśmy do naszego organizmu jako pokarm, i które w nim podległy stosownej przemianie.

Naturalnie ciepło może być zamienione na pracę. Ciepło spalania zużytkować możemy do tego, ażeby zamienić wodę na parę, której prężność wprowadzać będzie w ruch maszynę parową i wykonywać pracę, jaką uznamy za stosowną. Nasza własna praca, albo praca jakiegokolwiek organizmu żywego, choćbyśmy tak nazwali wszelki fizjologiczny objaw życia, stanowi tylko przemianę energii słońca, nagromadzonej w użytym przez organizm pokarmie. Dlatego to niema życia, niema pracy bez pokarmu.

Gdy zwróciliśmy na to uwagę, że istotną stroną życia roślin jest tworzenie związków organicznych

z węgla, stanowiącego część składową atmosferycznego kwasu węglowego, to nie znaczy, ażeby ten kwas węglowy nie znajdował także innego zużytkowania. Zwrócimy tylko uwagę na zjawisko wietrzenia skał, polegające na tem, że zawarte w nich wapno, magnezja, sole alkaliczne i t. p., łącząc się z kwasem węglowym powietrza, tworzą węglany. To jednakże nie może ulegać wątpliwości, że przy równie korzystnych innych warunkach, wegetacja o wiele bujniejszą być musiała wówczas, gdy zawartość bezwodnika kwasu węglowego w atmosferze znacznie większa była, niż obecnie.

Badania geologiczne stwierdzają w minionych okresach geologicznych epoki nadzwyczaj bujnego rozwoju życia roślinnego i zwierzęcego. Z tych to czasów pochodzą pokłady węgla kamiennego lub brunatnego, pokłady ropy, wosku ziemnego i t. p., t. j. wszelkich organicznych ciał kopalnych. W tych pokładach nagromadzona jest energja słońca, którą rośliny przez setki tysięcy lat wiązały w swoich komórkach.

Szczęśliwi spadkobiercy, korzystamy pełną dłońią z odziedziczonych bogactw; ale nie zawsze i nie wszyscy uprzytomniamy sobie, że gdy korzystamy ze światła gazowego lub elektrycznego, gdy jedziemy koleją lub zaprzęgamy do pracy maszynę parową, opalaną węglem, ropą czy benzyną,—to zużytkowujemy zawsze tylko energję słońca, która w zamierzchłych czasach spłynęła na ziemię.

Nie możemy wyliczać wszystkich zjawisk ziemskich, w których objawia się działanie promieni słonecznych. Takimi są, jak wnioskować można z przykładów wyżej przytoczonych, prawie wszystkie zjawiska ziemskie, a więc ilość ich nieskończenie wielka. Wyjątki są bardzo nieliczne. O jednym, mianowicie o zjawisku przyływów i odpływów morskich, wspomnieliśmy wyżej. Jako drugi przytaczane bywają niekiedy zjawiska magnetyzmu ziemskiego i elektryczności



emskiej. Ale że pomiędzy temi zjawiskami a słońcem tnieje ścisły związek, to nie ulega żadnej wątpliwości.

Wiadomo, że elementy magnetyczne w danem miejscu ulegają perjodycznym wahaniom nie tylko dziennym i rocznym, ale nawet — zachodzącym w okresie protu słońca dokoła osi i w okresie jedenastoletnim plam słonecznych. Związek ścisły pomiędzy elektrycznością i magnetyzmem ziemskim a plamami słonecznymi objawia się nader wyraźnie także w zakłóceniach prądów elektrycznych, przebiegających skorupę ziemską i atmosferę, oraz w t. zw. burzach magnetycznych, które występują zawsze wtedy, gdy jakaś wielka plama przechodzi przez centralny południk słoneczny.

Ten związek, a z drugiej strony fakt stwierdzony, że w widmie plam słonecznych występuje t. zw. zjawisko Zeemana, t. j. rozszczepiania się linii widmowych, zjawisko, które występuje wtedy, gdy źródło światła znajduje się pod działaniem silnego pola magnetycznego, — przemawia za tem, że słońce jest także źródłem magnetyzmu ziemskiego. Nie będziemy tego wniosku głębiej uzasadniać, ale skoro uznamy go za słuszny, o energii słonecznej przypiszemy też takie zjawiska, jak orzebiegunowe, których ścisły związek z magnetyzmem ziemskim nie ulega wątpliwości.

Inną kategorię zjawisk ziemskich stanowią te, które zachodzą wewnątrz ziemi. Tu motorem jest własna energia wewnętrzna ziemi, której skromną resztę z dawnych zapasów zachowała ziemia, pokrywszy się skorupą, albo przewodzącą ciepło i nieznaczną tylko ilość jego wypuszczającą nazewnątrz. Zjawiska te w ogólności są nam nieznane, a gdy jakieś wiadomości o nich mamy, to tylko zdobyte drogą wnioskowania. Zjawiska wulkaniczne, trzęsienia ziemi i t. p. należą do tej kategorii, które uprawniają nas do pewnych wniosków, dotyczących wnętrza ziemi.

Ale gdy staniemy na stanowisku ogólniejszem i zapytamy o źródło tej energii wnętrza ziemi, to przecież znowu zwrócimy się ku słońcu i cofniemy się myślą w te odległe czasy, gdy, zgodnie z panującymi w nauce poglądami kosmogonicznymi, ziemia oderwała się od słońca. Zabrała ona, rozpoczynając swe bytowanie samodzielne, cząsteczkę energii słońca, część kapitału wydała, a niewielką jego resztę przechowała. Gdy więc przyznać musimy, że także i energję wnętrza ziemi uważać można za część energii słońca, to jednakże szczególnie interesuje nas w tej chwili nie ten pojedynczy epizod z historii słońca, powstanie ziemi, lecz ten stały podatek, który słońce płaci ziemi od chwili jej narodzin.

Nie możemy pominąć jeszcze jednego źródła energii na ziemi, które uważamy za samodzielne, gdyż związku jego z energją słońca dotąd nie wykazano. Źródłem tem są tak zwane ciała promieniotwórcze, jak np. uran, tor, rad etc., które bez widocznych objawów wyczerpania są w stanie wypromieniowywać energję przez tysiące lub miliony lat. Nie można wątpić, że energja ta dla stosunków, panujących na ziemi, ma wielkie znaczenie, chociaż dotąd jeszcze niedostatecznie zbadane. W jednym z następnych rozdziałów będziemy musieli sprawą tą zająć się obszerniej.

## ROZDZIAŁ II.

Promienie słońca.—Dyspersja.—Widmo.—Część widma przedczerwona, optyczna i zafioletkowa.—Ilościowe badanie energii słońca.—Aktynometrja.—Zestawienie niektórych potrzebnych liczb.

Każdy, kogo zapytamy, co otrzymujemy od słońca, odpowie, że ciepło i światło. Oczywiście, skoro to ciepło i światło otrzymujemy od słońca, to i ciepło i światło muszą przebyć drogę, dzielącą nas od słońca. Jak uczy fizyka, przestrzeń, w której mieszczą się wszystkie ciała niebieskie, wypełniona jest nieważką substancją, t. zw. eterem, w którym drgania cząsteczek materji słońca przeschepiają się ku ziemi; stanowią one te promienie, któremi energja słońca spływa na ziemię.

Promienie, któremi słońce zalewa ziemię, nie są bynajmniej jednakowe: wypływa to z objawów najrozmaitszych, które różne promienie powodują. Jedną z cech, którą się promienie między sobą różnią, a którą w prosty sposób da się ująć w liczby, jest długość fali, albo ściślej obszar drgań w eterze, charakterystycznych dla danego promienia.

Może nie zawadzi w kilku słowach przypomnieć, co rozumie się w fizyce przez długość fali. Według najdokładniejszych pomiarów, prędkość światła, albo ogólniej promieni, wynosi 299 890 km/sek. To znaczy, że na taką odległość przeschepiają się drgania w eterze

w jednej sekundzie. Jeżeli drgań takich w tym czasie było 500 biljonów, czyli  $5,10^{14}$ , to otrzymamy obszar drgań, albo długość fali, dzieląc drogę przebytą w sekundzie przez liczbę drgań w sekundzie. W przykładzie przytoczonym długość fali wynosi 0,00059 mm.

Długości fali, jak widzimy na tym przykładzie, są bardzo małe. Dlatego wyraża się je zazwyczaj w jednostkach długości, mniejszych niż milimetr. Określa się mianowicie:

$$1 \text{ mm} = 1000 \mu = 1000000 \mu\mu = 10000000 \text{ A.}$$

czyli

$$1 \text{ A} = 10^{-1} \mu\mu = 10^{-4} \mu = 10^{-7} \text{ mm} = 10^{-10} \text{ m}$$

i nazywa 1  $\mu$  mikronem, 1  $\mu\mu$  milimikronem, a 1 A jednostką Angströma albo wprost Angströmem.

Zgodnie z powyższymi określeniami, długość fali w przytoczonym przykładzie jest

$$0,00059 \text{ mm} = 0,59 \mu = 590 \mu\mu = 5900 \text{ A.}$$

Dla jednostajności będziemy stale wyrażać długości fali w Angströmach.

Chcąc wyróżnić jakiś promień z pośród innych wystarczy podać jego długość fali, gdyż badania fizyczne, chemiczne, fizjologiczne etc. nad własnościami promieni różnych długości fali wykryły mnóstwo faktów naukowych, które też dostarczą nam potrzebnych w danym przypadku szczegółów. Tak np. możliwość wydzielania z pośród innych promieni danej długości fali zawdzięczamy tej okoliczności, że promienie, przechodząc z jednego ośrodka przezroczystego do innego, mającego inną gęstość, naprzykład z powietrza do szklanego pryzmatu trójsściennego, ulegają załamaniu, i to tem silniejszemu, im mniejsza jest długość fali.

Gdy więc na ścianę pryzmatu padnie snop światła, w którym promienie wszelkich możliwych długości



fali są ze sobą zmieszane, to w pryzmacie snop ten się rozszczepi, gdyż promienie każdej długości fali pójdą w innym kierunku, ściśle określonym przez wartość współczynnika załamania promieni danej długości fali. Podobne rozszczepienie, czyli dyspersję wiązki różnorodnych promieni na promienie niezłożone można osiągnąć także, przepuszczając wiązkę promieni przez bardzo ciasną szczelinę. Wówczas występuje zjawisko, zwane dyfrakcją: promienie uginają się u brzegów szczeliny. Odchylenie promieni od pierwotnego kierunku jest tem większe, im większa jest długość fali, co pociąga za sobą rozszczepienie wiązki na jednorodne promienie.

Gdy przez rozszczepienie wiązki promieni, idącej od jakiegoś źródła światła, promienie od największych do najmniejszych długości fali uszeregują się jeden za drugim, to tworzą one widmo tego źródła, z którego promienie pochodzą. Widma różnych źródeł różnić się mogą pod tym względem, że w jednym występują promienie takich długości fali, których w drugim nie ma. Na tem, jak wiadomo, opiera się zastosowanie analizy widmowej w astronomji, t. j. metody, która pozwala na podstawie uzasadnionej interpretacji szczegółów widma, wnioskować o warunkach, w jakich znajduje się źródło analizowanych promieni.

Jest rzeczą zrozumiałą, że badania naukowe z wielką energją i z zastosowaniem wszystkich stojących do dyspozycji środków zajęły się widmem słonecznem, a że wyniki tych badań są wszechstronniejsze i stokroć bogatsze, aniżeli dotyczące widm innych ciał niebieskich, to objaśnia się też wyjątkowem stanowiskiem słońca pośród innych ciał niebieskich, jako źródła, które pod względem ilości energii, udzielanej ziemi, jest bez konkurencji.

Energja słońca, która dosięga powierzchni ziemi w postaci promieni, jest sumą działania promieni bar-

dzo różnych długości fali. W widmie słońca układają się kolejno za sobą promienie, poczynszyszy od najdłuższych fal, wynoszących około  $5,3 \mu = 53000 \text{ \AA}$ , kończąc na promieniach o długości fali zaledwie  $2922 \text{ \AA}$ . Jest zresztą rzeczą pewną, że w promieniowaniu słońca biorą też udział promienie o długości fali większej niż  $3,5 \mu$  i mniejszej niż  $2922 \text{ \AA}$ , lecz te w drodze swej przez atmosferę ziemską zostają przez nią pochłonięte. Oczywiście energia tych przez atmosferę pochłoniętych promieni idzie na dobro ziemi.

W tym układzie promieni, uszeregowanych według długości fali, jakim jest widmo, jak wiadomo, występują luki: znaczy to, że promieni pewnych długości fali w widmie brak. Niektóre z tych brakujących promieni, jak badania wykazują, zatrzymane zostają przez gazy atmosfery ziemskiej, innych zaś wogóle w promieniowaniu słońca niema. Objaśnia się ten brak w ten sposób, że promienie, brakujące w widmie słońca, pochłonięte zostają przez gazy i pary, z których utworzone są zewnętrzne warstwy kuli słonecznej, a jakoś tych brakujących promieni określa nam wprost, jakimi są te pochłaniające ciała słoneczne.

Nie mogliśmy pominąć tych kilku uwag, które się łączą z innemi dziedzinami badań słonecznych; bo gdy, traktując zagadnienie energii słońca szerzej, zechcemy ją też zbadać pod względem jakościowym, to równie ciekawem może być pytanie, jakie promienie słońce w przestwór wysyła, jak to, jakich promieni jesteśmy pozbawieni. Nawet otwiera się tu wdzięczne pole dla fantazji na temat, co by się działo na ziemi, gdyby w promieniowaniu słońca promienie wszystkich długości fali były reprezentowane.

Działanie promieni różnych długości fali jest bardzo rozmaite, jak również bardzo różne jest działanie danych promieni na różne ciała. Pod tym ostatnim względem zachowanie się ciał jest trojakie; albo odbija-

ją one (lub rozpraszają) padające na nie promienie, albo pochłaniają je, albo też przepuszczają. W przyrodzie u ciał dostrzegamy wszystkie trzy wspomniane własności w stosunku do jakichkolwiek promieni, ale stopień występowania każdej z tych własności zmienia się w granicach bardzo rozległych w zależności od ciała i długości fali.

W jakikolwiek sposób zachowa się promień, gdy natrafi na jakieś ciało, egzystencję swoją objawić on może tylko przez działanie energii, którą niesie ze sobą. Energja ta naturalnie objawia się w niezliczonych zjawiskach, jak to widzieliśmy w poprzednim rozdziale. Jednakże dadzą się one sprowadzić zazwyczaj do objawów trzech kategorii: cieplnych, świetlnych i chemicznych. Odpowiednio do tego dobiera się metody badania, które pozwalają stwierdzić istnienie promieni pewnych długości fali i wykryć ich własności.

Więc promienie o falach najdłuższych, które tworzą początek widma, objawiają swą obecność przede wszystkim tem, że temperatura ciała, które te promienie pochłonie podnosi się. Nie wchodzimy w to, jakie w odpowiednich warunkach mogą być jeszcze inne działania tych promieni, gdyż działanie ich termiczne wystarcza nietylko do ich wykrycia, ale też do ilościowego wyznaczenia zawartej w nich energii.

Promienie te różnią się między sobą natężeniem działania termicznego i, pomijając lekkie wahania, powiedzieć można, że natężenie to rośnie w miarę, jak długość fali maleje. Ale gdy długość fali badanych promieni zbliżać się zaczyna do 8000 Å, to oprócz już znacznie zwiększonej energii cieplnej, występuje nowy objaw: promienie zaczynają świecić. Wrażenie światła, wywołane działaniem promieni na nasze narządy wzrokowe, zależne jest w pewnym stopniu od różnic indywidualnych; dlatego nie można ściśle podać tego miejsca w widmie, gdzie występować zaczynają objawy

światłne. Długość fali 8000 Å można uważać za wartość średnią dla różnych oczu.

Z wrażeniem światła łączy się wrażenie barwy, mianowicie na granicy pomiędzy promieniami nieświecącymi a świecącymi wrażenie barwy czerwonej. Skutkiem tego ta cała część widma, która poprzedza część optycznie czynną, nazywa się częścią przedczerwoną. Część dalsza, utworzona przez promienie widzialne, nazywa się częścią optyczną.

W części optycznej idą kolejno po sobie, przechodząc stopniowo jedna w drugą, barwy czerwona, pomarańczowa, żółta, zielona, niebieska—od jasno lazurowej do ciemno-fioletowej.

Działanie termiczne promieni nie ustaje bynajmniej w tem miejscu widma, gdzie zaczyna się działanie optyczne. Natężenie jego wzrasta dalej ze zmniejszającą się długością fali i osiąga wartość największą u promieni o długości fali około 0,5  $\mu$ ; potem zmniejsza się bardzo szybko i zbliża się do zera w części fioletowej widma. Również pod względem natężenia świetlnego promienie jasne bardzo między sobą się różnią. Maximum natężenia przypada bardzo blisko maximum termicznego, a u krańców części optycznej natężenie to staje się zerem. Część jasna widma słonecznego kończy się przy długości fali około 3900 Å; i tu również ścisłej granicy ze względu na różnice indywidualne podać nie można.

Ale wraz z promieniami jasnymi widmo bynajmniej się nie kończy. Już w drugiej połowie jasnej części widma prócz ciepła i światła ujawnia się i potęguje coraz bardziej, w miarę zbliżania się do granicy widma optycznego, jeszcze inne działanie promieni słonecznych. Działanie to polega na tem, iż pomiędzy pewnymi ciałami zachodzą reakcje chemiczne, o ile na nie padną wspomniane promienie widma.

Jak wiadomo, idea fotografii opierała się na zało-



zeniu, że istnieją ciała, które podlegają zmianom chemicznym pod działaniem promieni światła. Po mozolnych poszukiwaniach ciała takie poznano, a do najbardziej znanych należą bromki, chlorki i jodki srebra i złota. Na te ciała jednakże działają chemicznie nie wszystkie promienie słońca, ale tylko promienie pewnych długości fali, które nazwano promieniami chemicznymi. Jest to nazwa niesłuszna, o ile przysługiwać ma tylko promieniom wyżej wspomnianej kategorii. W istocie bowiem działanie chemiczne, jak się zdaje, ujawniać mogą wszystkie promienie widma słonecznego, ale nie wszystkie działają na te same ciała. Jednym z warunków, aby działanie chemiczne pewnych promieni na jakieś ciało ujawnić się mogło, jest, ażeby promienie te przez to ciało zostały pochłonięte.

Otóż działanie chemiczne w znaczeniu powyższem nie kończy się w optycznie czynnej części widma. Promienie o długości fali mniejszej, niż 3900 Å, które wrażenia światła już wywołać nie mogą, silniej jeszcze działają chemicznie, aniżeli promienie niebieskie lub fioletowe. Ta część widma niewidzialna, która składa się z promieni o krótszej fali, aniżeli promienie części optycznej, nazywa się częścią zafioletową.

Część zafioletową widma słonecznego można stwierdzić aż do długości fali 2922 Å, i w tem miejscu widmo się urywa, jak to już wyżej zaznaczyliśmy. Zauważyliśmy również, że granice widma słonecznego określone są raczej tylko przez absorbcję atmosferyczną, a nie mają bynajmniej tego znaczenia, że słońce wysyła te tylko promienie, które znajdują się w widmie.

Takie zapatrywanie opiera się przedewszystkiem na fakcie, że różne sztuczne źródła światła, badane w laboratorjach, mają widma, sięgające daleko w obie strony poza granice widma słonecznego. Powtórne doświadczenia stwierdzają, że powietrze dla promieni krótkofalistych jest bardzo mało przezroczyste, a pro-

mieni, których długość fali wynosi 1570 Å, warstwa powietrza grubości 1 dm już zupełnie nie przepuszcza.

Działanie promieni zafjolkowych nie zostało dotąd jeszcze zbadane wszechstronnie. Odkryte one zostały, jak widzieliśmy, dzięki chemicznej wrażliwości pewnych ciał na ich działanie. Z innych własności tych promieni zasługuje na szczególną uwagę ta, że pośredniczą one przy jonizacji powietrza, dzięki której, jak wiadomo, powietrze staje się dobrym przewodnikiem elektryczności. Co do promieni o falach najkrótszych, a więc przez atmosferę pochłoniętych całkowicie, to istnieją pewne podstawy do przypuszczenia, że same one mogą jonizować powietrze, a naturalnie odnosiłoby się to do tych najwyższych, bardzo rozrzedzonych warstw powietrza, do których te promienie jeszcze docierają.

Zwróciliśmy uwagę na tę rolę, jaka prawdopodobnie przypada promieniom zafjolkowym przy jonizacji powietrza, ponieważ przez tę własność znaczenie tych promieni, i tak już olbrzymie z powodu ich działania chemicznego, znacznie się jeszcze potęguje. Gdy przyjmujemy, że jonizacja powietrza warstw wyższych jest ich dziełem, to im też przypisać będziemy musieli wiele objawów elektryczności atmosferycznej, przede wszystkim zaś prądy elektryczne przebiegające wyższe warstwy atmosfery, które powodują z jednej strony zjawisko t. zw. zórz biegunowych, z drugiej zaś wahania elementów magnetyzmu ziemskiego, o których związku ze słońcem była mowa w rozdziale I. Nie wyklucza to zresztą możliwości, że wolne jony, t. j. naładowane elektrycznością cząsteczki materjalne, przybywają do nas z atmosfery słonecznej, co dla wyjaśnienia pewnych zjawisk ziemskich wydaje się koniecznem.

Ustępy powyższe rzucają pewne światło na istotną przyczynę wielkiej różnorodności zjawisk, zachodzących na ziemi. Promienie o własnościach skomplikowanych

padają na materję o skomplikowanej budowie, — oto treściwe ujęcie tej przyczyny. Ponieważ zachodzi ścisły związek pomiędzy działaniem promieni a budową ciała, na które one padają, więc ze sposobu, w jaki objawia się działanie pewnych promieni w danym przypadku, nie można wnioskować, jak się ono objawi w innym.

Jest ogromna obfitość zagadnień, odnoszących się do jakościowego działania promieni słonecznych. Stanowią one przedmiot badań przedewszystkiem fizyki i chemji, dla dalszych naszych rozważań wystarczą szczegóły wyżej podane. Dla tych rozważań o wiele większe znaczenie będzie miało badanie energii promienistej słońca pod względem ilościowym, gdyż możliwie dokładne ujęcie w liczby wydawanej przez słońce energii jest warunkiem koniecznym, ażeby zagadnieniu o pochodzeniu i wyczerpywaniu się energii słońca dać podstawę realną.

Wobec tego, że zjawiska, w których działanie energii słonecznej się objawia, są tak rozmaite, wyznaczenie ilości energii, która do wywołania tych zjawisk jest potrzebną, wydaje się rzeczą bardzo trudną. W istocie jest to zadanie trudne, ale może nie tak trudne, jakim się na pierwszy rzut oka wydaje.

Natknęlibyśmy się na trudności nieprzewyciężone, gdybyśmy chcieli na podstawie dostrzeżonych objawów porównać np. ilość energii, która powoduje podniesienie się rtęci w rurce włoskowatej o 1 stopień skali termometrycznej, z ilością energii, potrzebną do wywołania w nas wrażenia zielonej barwy liścia, lub też zużytą na zaczernienie pewnego gatunku papieru fotograficznego. Na szczęście wiemy, że różne postaci, w których energia się objawia, mogą przechodzić jedna w drugą. Zadanie zatem wyznaczenia ilości energii, którą ziemia otrzymuje od słońca, byłoby znacznie uproszczone, gdyby ją można było sprowadzić do jednej

postaci, i to takiej, dla której pomiar da się z największą dokładnością uskutecznić.

Gdyby istniało takie ciało, które pochłania wszystkie padające nań promienie i całą pochłoniętą energję promienistą zamienia na ciepło, to mierząc ilość ciepła, która by się nagromadziła w tem ciele, gdybyśmy je przez pewien czas poddali działaniu promieni słonecznych, określilibyśmy ilość energii słonecznej, która w tym czasie spłynęła na powierzchnię tego ciała.

W rzeczywistości ciała takiego w przyrodzie niema, wszystkie ciała, jak to już wyżej zaznaczyliśmy, część padających na nie promieni odbijają lub przepuszczają. Od pierwszych, jeżeli są to promienie widma optycznego, zależy barwa ciał w świetle odbitem, od drugich zaś barwa ciał w świetle przechodzącem. Jeżeli ciało nie odbija żadnych promieni optycznie czynnych, ani nie przepuszcza, to nazywamy takie ciało czarnem; ciało idealne, które pochłania wszystkie padające nań promienie, nie tylko optycznie czynne, nazywa się ciałem doskonale czarnem.

Z ciał, rzeczywiście istniejących, do ciała doskonale czarnego najbardziej zbliża się sadza. Z badań nad jej zdolnością absorbcyjną wynika, że pochłania ona 91% padających na nią promieni. Dla tej swej właściwości sadza w badaniach nad ilością energii słonecznej znajduje bardzo szerokie zastosowanie. Oczywiście, gdy wymierzimy ilość ciepła, nagromadzoną przez sadzę w pewnym czasie wskutek pochłonięcia padających na nią promieni słonecznych, należy, celem otrzymania całkowitej energii promieni, które na sadzę padły, powiększyć ilość, otrzymaną z pomiaru, ze względu na promienie odbite i przepuszczone przez sadzę.

Dział wiedzy, który zajmuje się pomiarem energii promienistej ciał niebieskich w ogólności, a w szczególności słońca, nazywa się aktynometrią, a przyrządy, do tego celu służące, aktynometrami.



Prototypem takich przyrządów jest pyrhelimetr Pouilleta, którego zasada jest następująca. Powierzchnia wielkości dokładnie określonej zostaje pokryta sadzą i ustawiona prostopadłe do kierunku padających promieni słonecznych. Pochłonięta przez sadzę energia promienista słońca zamienia się w ciepło, które zużytkowuje się wyłącznie na ogrzanie pewnej określonej ilości wody.

Nazywa się w fizyce małą kalorią albo kalorią gramową ilość ciepła, która jest potrzebną, aby 1 gram czystej wody, mającej temperaturę  $15^{\circ}\text{C}$ ., podnieść do temperatury  $16^{\circ}\text{C}$ . Gdy więc zmierzymy, o ile wzrosła temperatura wody w pyrhelimetrze, to z łatwego rachunku otrzymuje się ilość kalorii gramowych, którą reprezentuje energia promienista, pochłonięta przez zakopconą powierzchnię.

Nie będziemy się tu szerzej zajmowali trudnościami, z jakimi połączone są badania aktynometryczne, oraz licznymi metodami i przyrządami, wymyślonemi w celu uzyskania jak największej dokładności wyników. Chodzi nam bowiem głównie o wyniki, z których będzie można wyciągnąć stosowne wnioski.

Zanim jednakże do tych wyników przejdziemy, zestawimy na końcu tego rozdziału niektóre liczby, które nam później będą potrzebne, a których wyjaśnienie w miejscu, gdzie je zastosować wypadnie, przerywałoby ciągłość wykładu.

Jako przybliżoną długość promienia kuli ziemskiej przyjmujemy  $637.10^6\text{ cm}$ .

Wypływa stąd:

- a) powierzchnia kuli ziemskiej . . . . .  $51.10^{17}\text{ cm}^2$ .
- b) objętość                   "                   " . . . . .  $11.10^{26}\text{ cm}^3$ .
- c) powierzchnia wielkiego koła na ziemi .  $127.10^{16}\text{ cm}^2$ .

Średnia odległość ziemi od słońca, czyli jedna stopka planetarna, równa się 23439 promieniom kuli ziemskiej, t. j. okrągło . . . . .  $15.12^{12}\text{ cm}$ .

Powierzchnia kuli o promieniu, równym średniej odległości ziemi od słońca, wynosi zatem  $28 \cdot 10^{26} \text{ cm}^2$ .  
a objętość powyższej kuli . . . . .  $14 \cdot 10^{39} \text{ cm}^3$ .

Promień kuli słonecznej jest 109 razy większy od promienia kuli ziemskiej; wobec tego równa się:

- a) promień słońca . . . . .  $69 \cdot 10^9 \text{ cm}$ .
- b) powierzchnia słońca . . . . .  $61 \cdot 10^{21} \text{ cm}^2$ .
- c) objętość słońca . . . . .  $14 \cdot 10^{32} \text{ cm}^3$ .

Gdy jeszcze przyjmiemy, że masa słońca jest 330 000 razy większa od masy ziemskiej i że średnia gęstość ziemi w stosunku do wody, pod normalnem ciśnieniem i w temperaturze  $+4^{\circ} \text{ C}$ . równa się 5.55, to znajdziemy, że wynosi:

- a) masa ziemi . . . . .  $61 \cdot 10^{26} \text{ gr}$ .
  - b) masa słońca . . . . .  $2 \cdot 10^{33} \text{ gr}$ .
-

## ROZDZIAŁ III.

Fotometria słońca.—Stała słoneczna.—Ilość energii, którą od słońca otrzymuje ziemia.— Ilość energii, którą wysyła słońce.— Temperatura słońca.

Obok bardzo doniosłego zagadnienia, które w dziedzinie aktynometrii możemy nazwać głównem, mającego na celu określenie ilościowe wszystkiej energii promienistej, wydzielanej przez słońce, nie brakło nigdy prób ujęcia w liczby poszczególnych objawów tej energii.

Objawem, najlepiej się nadającym do tego rodzaju badań, jest światło, ponieważ promienie, które ten objaw wywołują, w granicach bardzo przybliżonych określone są przez organ tak wrażliwy, jakim jest oko ludzkie. Wynikiem badań tu jednakże nie będzie wyrażenie energii, sprawiającej wrażenie światła przez jakieś jednostki energii, lecz tylko porównanie ilości światła, płynącego od słońca, z ilością światła, które otrzymujemy od innych źródeł światła, kosmicznych czy ziemskich.

Badania tego rodzaju należą do dziedziny fotometrii. Oczywiście bez wszelkich pomiarów fotometrycznych wiemy, że ze wszystkich źródeł światła, z których korzystamy na ziemi, słońce jest najpotężniejszym. Ale w całej pełni potęga ta występuje dopiero wtedy, gdy ją ujmimy w liczby, uzyskane przez porównanie słońca z innemi znanemi źródłami światła.

Aby dojść do tych liczb, musimy najprzód dokładnie zdefiniować, co należy rozumieć przez oświetlenie słoneczne. To, które obserwujemy, jest bardzo zmienne, a natężenie jego zależy przedewszystkiem od stanu atmosfery, następnie zaś od wysokości słońca nad poziomem.

Zmienność ta, jak widzimy, ma swe źródło nie w słońcu, lecz w warunkach, w jakich znajduje się spozstrzegacz ziemski. Ponieważ natężenie oświetlenia maleje też w tym stosunku, w jakim wzrasta kwadrat odległości źródła światła, więc oświetlenie słoneczne zmienia się, acz w niewielkich granicach, także z powodu zmian odległości ziemi od słońca w jej eliptycznej drodze.

Rugując te czynniki, które powodują zmienność oświetlenia słonecznego, rozumieć należy w fotometrii przez oświetlenie słoneczne to oświetlenie, któreby dawało słońce, gdyby znajdowało się w swej średniej odległości od ziemi, a w miejscu obserwacji świeciłoby w zenicie i promienie jego dochodziłyby do obserwatora, nie osłabione działaniem absorbcyjnym atmosfery.

Oświetlenie, dawane przez jakieś źródło światła, jest proporcjonalne do ilości światła, którą to źródło wysyła, i, jak wspomnieliśmy wyżej, odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości. Gdy więc porównamy oświetlenie, dawane przez dwa różne źródła światła, i wyrazimy ten stosunek liczbą, to możemy też, gdy odległość każdego z porównywanych źródeł jest znana, obliczyć, ile razy więcej światła wysyła jedno źródło, niż drugie.

Oświetlenie słoneczne możemy porównać na przykład z oświetleniem księżyca, gwiazd lub świecy normalnej. Nie będziemy tu wykładali metod, które przy tego rodzaju badaniach się stosuje, zaznaczymy tylko, że wyniki, do których one prowadzą, nie odznaczają się



wielką dokładnością, i należy im nadawać tylko znaczenie orientacyjne.

W porównaniu z księżycem w pełni oświetlenie słońca jest  $6.10^5$  razy większe. Ponieważ średnia odległość księżyca od ziemi wynosi 60 promieni kuli ziemskiej, a średnia odległość słońca 23439 takich promieni, więc łatwo obliczyć, że słońce, gdyby znajdowało się w takiej odległości, jak księżyc, dawałoby oświetlenie  $96.10^9$ , t. j. 96 miliardów razy większe. Innymi słowy, słońce wysyła w przestwór 96 miliardów razy tyle światła, co księżyc w pełni.

Gwiazdy ze względu na ilość światła, którą od nich otrzymujemy, dzielimy na t. zw. wielkości. Ustalono, że stosunek ilości światła, którą otrzymujemy od gwiazd dwóch po sobie następujących wielkości, wynosi 2,5. W tej skali wielkości gwiazdowych przyjmuje się dalej, że najmniejsze z gwiazd, widzialnych jeszcze gołym okiem przy wzroku normalnym, należą do 6-ej wielkości, a najjaśniejsze teleskopowe do 7-ej. Stosownie do wyżej podanego stosunku wynika, że np. gwiazdę Węgę należy zaliczyć do wielkości zerowej, a najjaśniejsza gwiazda nieba Syrjusz jest wielkości — 1,4.

Gdy więc chcielibyśmy porównać ilość światła, otrzymywaną od słońca, ze światłem gwiazd, to najwłaściwiej byłoby zastosować do słońca skalę wielkości gwiazdowych. Otóż z pomiarów fotometrycznych wynika, że pod względem ilości przesyłanego nam światła można je nazwać gwiazdą—27-ej wielkości. To znaczy, że od słońca otrzymujemy  $(2,5)^{27}$  razy tyle światła, co od gwiazdy wielkości zerowej, a  $(2,5)^{28}$  razy tyle światła, co od gwiazdy 1-ej wielkości.

Wartość tej 28-ej potęgi wynosi liczbą okrągłą  $19.10^{10}$ ; a zatem dla zastąpienia światła słonecznego musiałoby świecić na niebie 190 miliardów gwiazd 1-ej w.

Ponieważ ilość światła, którą otrzymujemy od jakiegoś źródła, znajduje się w stosunku odwrotnym do

kwadratu odległości od nas, więc gdy z powyższej liczby 190 miliardów wyciągniemy pierwiastek kwadratowy, to pierwiastek ten oznacza, ile razy dalej, niż obecnie, znajdować by się musiało słońce, ażebyśmy je widzieli jako gwiazdę 1-ej wielkości. Pierwiastek ten, który ma wartość 435 900, oznacza wyjaśnioną wyżej odległość, wyrażoną w jednostkach planetarnych.

Gdy nazwą rok światła określimy drogę, którą światło przebiega w ciągu roku, to równa się ona 63 300 jednostkom planetarnym. Odległość 435 900 jednostek planetarnych, wobec powyższego określenia, wynosi tyle co 6,9 lat światła. Możemy więc wobec otrzymanego wyniku powiedzieć, że gwiazda 1-ej w., której odległość od nas wynosiłaby 6,9 lat światła, byłaby słońcem, równem naszemu słońcu pod względem ilości wydzielanego światła.

W rzeczywistości wszystkie gwiazdy z wyjątkiem jednej ( $\alpha$  Centaura) znajdują się w odległościach większych, i to z reguły dużo razy większych, niż 6,9 lat światła. Wiele jest zatem słońc takich, które są potężniejszymi źródłami światła, niż nasze słońce, ale, wobec ich wielkiego oddalenia od nas, jako źródła światła mają na ziemi tylko znikome znaczenie.

Najlepsze wyobrażenie o ilości światła, wysyłanego przez słońce, otrzymamy, gdy ją wyrazimy w jakichś znanych i dokładnie określonych jednostkach światła. Za taką jednostkę przyjmuje się światło t. zw. świecy normalnej, t. j. świecy parafinowej o średnicy 2 cm i wysokości płomienia 5 cm.

Otóż porównując oświetlenie słoneczne w znaczeniu wyżej sprecyzowanym z oświetleniem świecy normalnej, otrzymuje się, jako wynik orjentacyjny, że oświetleniu słonecznemu dorównywa oświetlenie 60 000 świec normalnych, ustawionych w odległości 1 metra. Stąd już łatwo obliczyć, ile by trzeba świec normalnych, aby wysyłały tyle światła, co słońce.

Ponieważ odległość ziemi od słońca wynosi  $15.10^{10}$  m, więc owych 60 000 świec, przeniesionych na odległość słońca, dawało by nam tyle razy mniej światła niż słońce, ile wynosi kwadrat powyższej liczby, t. j.  $225.10^{20}$ . Dla zastąpienia więc światła słonecznego należałoby ulokować na jego miejscu  $135.10^{25}$  świec normalnych. Gdy zaś weźmiemy pod uwagę, że druga półkula słońca wysyła tyleż światła, co zwrócona ku nam, to trzebaby dla zastąpienia słońca  $27.10^{26}$  świec.

O natężeniu świetlnem powierzchni słońca nabierzemy wyobrażenia, gdy obliczymy, ile światła wysyła np.  $1\text{ cm}^2$  tej powierzchni. Ponieważ cała powierzchnia słońca ma  $61.10^{21}\text{ cm}^2$ , a wydziela tyle światła, co  $27.10^{26}$  świec, więc na  $1\text{ cm}^2$  wypada okrągło 44 000 świec. A gdy w przybliżeniu przyjmiemy, że powierzchnia płomienia świecy normalnej ma  $5\text{ cm}^2$ , to wynika, że kawałek powierzchni słońca, równy płomieniowi świecy normalnej, tyleż światła wysyła, co 220 000 świec. Innymi słowy, natężenie świetlne powierzchni słońca jest 220 000 razy większe od natężenia płomienia świecy normalnej.

Robione też były próby wyznaczenia natężenia świetlnego powierzchni słońca przez bezpośrednie jej porównanie z różnemi silnie świecącemi powierzchniami. Jak łatwo przewidzieć, wszystkie one w porównaniu z powierzchnią słońca wydały się ciemnymi, skutkiem czego też liczby, określające stosunek jasności, nie budzą wielkiego zaufania. Tak np. Langley znalazł, że natężenie świetlne powierzchni słońca jest 5300 razy większe, aniżeli stali, roztopionej w grusze Bessemera. Najbardziej zbliża się do słońca pod względem natężenia światła węgiel, rozżarzony w łuku Volty.

Badania nad ilością światła słonecznego, pomimo ciekawych wyników, do których prowadzą, nie dają nam podstawy do oceny ilościowej ogólnej energii słońca. Mamy prawo powiedzieć chyba tylko tyle, że

skoro tak wielką jest energia świetlna słońca, to i ogólna energia jest bardzo wielka; ale jaki jest stosunek energii promieni jasnych do energii wszystkich promieni, tego nie wiemy.

Jak widzieliśmy, tylko badania aktynometryczne są w stanie dać nam odpowiedź na pytanie, jaką jest ilość energii, którą od słońca otrzymuje ziemia, i jaką jest ilość energii, którą słońce wypromieniowuje w przestwór. Zasadę tych pomiarów wyjaśniliśmy w krótkości. Celem ich istotnym jest podanie dokładnej wartości tak zwanej stałej słonecznej.

Przez stałą słoneczną należy rozumieć ilość energii promienistej, którą otrzymywał by od słońca 1 cm<sup>2</sup> powierzchni ziemi w ciągu 1 minuty, gdyby słońce znajdowało się w swej średniej odległości od ziemi i świeciło w zenicie, a ziemia nie była otoczona atmosferą. Zakładamy przytem, że energia ta została zamieniona na ciepło i ilość jego wyrażamy w małych kalorjach.

Wielkość tę jednakże łatwiej jest zdefiniować, aniżeli dokładną jej wartość na drodze aktynometrycznej wyznaczyć. O trudności zagadnienia najlepiej wnioskować można stąd, że wartości stałej słonecznej, otrzymane w różnych czasach przez różnych badaczy za pomocą różnych metod i przyrządów, zawarte są w granicach od 1.7 do 3.4 małych koloryj. Szczególnie duże błędy w określeniu stałej powodować się zdaje atmosfera ziemską, której działanie absorbcyjne ulega nie dającym się skontrolować zmianom.

Badania ostatnich czasów, przy których na to źródło błędów specjalnie zwróconą była uwaga, dają wartości stałej, zawarte w granicach od 2,0 do 2,5. Wartość prawdziwa niezbyt pewnie różni się od wartości średniej, wypływającej z poszczególnych określeń, która wynosi 2,4. Jeżeli tę ostatnią wartość przyjmiemy za podstawę dalszych naszych rozważań, to wnioski liczbo-



we również tylko w tym samym stopniu do prawdy będą zbliżone; wnioski ogólne jednakże mogą zupełnie odpowiadać rzeczywistości.

Znając wartość stałej słonecznej, łatwo już obliczyć ilość energii, którą cała ziemia otrzymuje od słońca w ciągu 1 minuty. Ku słońcu w każdej chwili zwrócona jest tylko jedna półkula ziemi, i ta otrzymuje oczywiście tyle promieni słonecznych, ile by otrzymał przekrój kuli ziemskiej płaszczyzną, przechodzącą przez jej środek i prostopadłą do prostej, łączącej ziemię ze ze słońcem. Przekrój ten ma powierzchnię 4 razy mniejszą od powierzchni ziemi; według zestawienia, podanego na końcu poprzedniego rozdziału, wynosi ona  $127 \cdot 10^{16} \text{ cm}^2$ . Mnożąc tę liczbę przez stałą słoneczną, otrzymamy  $305 \cdot 10^{16}$ . Taką więc ilość kalorii gramowych wynosi zamieniona na ciepło energia słoneczna, którą ziemia otrzymuje w minucie.

Łatwy rachunek pokazuje, że takiej samej ilości ciepła potrzeba, aby 30,5 kilometrów sześciennych wody od temperatury  $0^\circ$  doprowadzić do stanu wrzenia, albo też bryłę lodu objętości  $38 \text{ km}^3$  roztopić. Gdy tę ilość ciepła równomiernie rozdzielimy na całą powierzchnię ziemi, to na każdy  $\text{cm}^2$  powierzchni przypadnie na minutę 0,6 kalorii. Czyni to rocznie, ponieważ rok ma 525 949 minut, okrążyło  $315 600 \text{ kal. gr. na cm}^2$ .

Ponieważ na stopienie 1 grama lodu potrzeba 80 kal. gr., więc łatwo obliczyć, że energia, którą ziemia otrzymuje od słońca w ciągu roku, zamieniona na ciepło, byłaby w stanie roztopić warstwę lodu grubości 39,5 m, pokrywającą całą powierzchnię ziemi. Objętość takiej warstwy wynosiłaby z górą  $25 000 000 \text{ km}^3$ , a ciężar  $25 \cdot 10^{18} \text{ kg}$ .

W rzeczywistych warunkach ziemskich, jak to wiemy z doświadczenia, niewielki tylko ułamek udzielanej nam energii słonecznej zużytkowuje się na rozgrzewanie wody lub topienie lodu. Znacznie większa część tej

energji zużywa się na wytworzenie pracy mechanicznej, a wielką jej ilość spostrzegowują też niezliczone procesy chemiczne, zachodzące w przyrodzie.

Wiemy, że wszystkie postaci energji mogą przechodzić jedna w drugą i że dla każdej z nich istnieją równoważniki, t. j. ilości światła, ciepła, elektryczności, pracy mechanicznej i t. p., które reprezentują tę samą ilość energji. Najczęściej obserwować można przykłady zamiany ciepła na pracę mechaniczną i odwrotnie, pracy na ciepło. Tak np. gdy pracuje maszyna parowa, zamienia się na pracę ciepło spalania węgla lub innego ciała; gdy zaś odwrotnie dla otrzymania prądu elektrycznego, który może znowu być zamieniony na ciepło i światło, korzystamy z energji spadku wody w rzekach lub wodospadach, to zachodzi tu zamiana pracy wody na ciepło.

Równoważnik pracy mechanicznej i ciepła jest też lepiej i dokładniej znany aniżeli inne równoważniki. Mianowicie, z badań fizycznych wynika, że ciepło, reprezentowane przez 1 kaloryję gramową, jest w stanie wykonać pracę podniesienia jednego grama do wysokości 426,8 m. Praca podniesienia grama na wysokość 1 metra nazywa się grammetrem. Jednakową zatem ilość energji reprezentują 1 kal. gr. ciepła i 426,8 grammetrów pracy, i ta ilość pracy jest zatem równoważnikiem dynamicznym kalorii gramowej. Odpowiednio więc też 1 gram, spadając z wysokości 426,8 m, wytwarza ilość ciepła, równą 1 kal. gr.

Gdy więc energia słoneczna, która przypada w ciągu minuty na każdy  $\text{cm}^2$  powierzchni ziemi, wynosi średnio w jednostkach ciepła 0,6 kal. gr., to w jednostkach pracy wynosi ona 256 grammetrów. Równoważnik mechaniczny ciepła, które w ciągu minuty otrzymuje cała ziemia, wynosi  $13 \cdot 10^{20}$  grammetrów. Znaczy to, że zużytkowując to ciepło, możnaby ciało wagi 1 kg.

wyrzucić w górę do wysokości  $13.10^{17}$  m, albo też ciało wagi  $13.10^{17}$  kg. podnieść na wysokość 1 m.

Praca podniesienia ciężaru 270 000 kg. na wysokość 1 m nazywa się koniem godzinnym. Stosując tę wielką jednostkę pracy, znajdujemy, że energia, którą ziemia w ciągu minuty dostaje od słońca, odpowiada pracy  $48.10^{11}$  koni godzinnych.

Zdolność do pracy czyli dzielność mierzy się ilością pracy, wykonanej w pewnym określonym czasie. Jednostką dzielności jest np. t. zw. koń parowy; określa się on jak dzielność, przy której w ciągu 1 sekundy wykonywa się praca 75 000 grammetrów.

Z liczb wyżej podanych wypływa, że dzielność promieni, które ziemia otrzymuje od słońca, wynosi  $29.10^{13}$  koni parowych. Maleńki ułamek tej energii wystarczyłby, aby utrzymać w ruchu wszystkie zakłady przemysłowe całej ziemi i wykonywać wszelką pracę ludzi i zwierząt.

Podziw słuszny budzi rozwój techniki nowożytnej, która coraz większe ilości energii słońca wyzyskać potrafi, zaprzęgając ją do pracy, której wykonanie bez tego motoru było by niemożliwe. Podziwiamy geniusz ludzki, który znalazł sposoby, aby dzielność setek koni parowych przenosić na odległość tysięcy kilometrów za pośrednictwem cienkich drutów i zużytkować ją tam, gdzie to jego celom odpowiada. A tymczasem bez zdziwienia, jak by na rzecz najprostszą i samą przez się zrozumiałą, patrzymy codziennie, jak płynie ku nam bez przerwy energia, odpowiadająca dzielności 290 biljonów koni parowych, przenoszona na odległość nie tysięcy, ale 150 milionów km, i to nawet bez pośrednictwa jakichkolwiek drutów, jedynie w postaci drobnych drgań w eterze o długości małych części milimetra, których ilość zato wynosi setki biljonów na sekundę.

Ale skoro już uprzytomniliśmy sobie znaczenie dla nas tego cudu przyrody, który nazywamy słońcem

to nie wpadnijmy w błąd przeżytego już dziś poglądu antropocentrycznego i nie przypuszczajmy, że ono świeci tylko dla nas, mieszkańców ziemi, i oddaje nam wszystką energję, którą dysponuje. W istocie drobny tylko ułamek energji, którą słońce wysyła w przestwór, zostaje pochwycony przez ziemię.

Słońce jest kulą i cała jego powierzchnia w równej mierze posiada zdolność promieniowania. Toteż wysyła ono swą energję promienistą w równej ilości we wszystkich kierunkach. Wyobraźmy sobie że promieniem, równym jednostce planetarnej, dokoła słońca zakreśloną została kula, to podobnie jak na przekrój kuli ziemskiej, tak samo na każdy  $\text{cm}^2$  powierzchni tej kuli w ciągu minuty przypada ilość energji, reprezentowana przez 2,4 małych kalorii albo 1025 grammetrów. Ilość energji, przypadająca na całą powierzchnię tej kuli, jest dopiero właściwą miarą wszystkiej energji, którą słońce wysyła.

W zestawieniu potrzebnych liczb (str. 28) znajdujemy, że powierzchnia kuli o promieniu, równym jednostce planetarnej, równa się  $28 \cdot 10^{26} \text{ cm}^2$ . Licząc po 2,4 kal. gr. na  $1 \text{ cm}^2$ , otrzymamy  $67 \cdot 10^{26}$  kalorii gr., jako całkowitą ilość energji, którą słońce wypromieniuje w 1 minucie. Przekrój ziemi, jak z zestawienia wynika, jest  $22 \cdot 10^8$  razy mniejszy od powierzchni rozważanej kuli, taką więc też częśćkę wysyłanej przez słońce energji otrzymuje ziemia.

Zamieniając kalorie na grammetry i obliczając dzielność słońca, znajdziemy, że równa się ona  $64 \cdot 10^{22}$  koniom parowym. Ponieważ zaś powierzchnia słońca ma  $61 \cdot 10^{21} \text{ cm}^2$ , więc, dzieląc powyższą liczbę koni parowych przez liczbę  $\text{cm}^2$ , znajdziemy dzielność jednego centymetra kwadratowego powierzchni słońca. Wynosi ona 10,5 koni parowych; to znaczy, że każdy  $\text{cm}^2$  powierzchni słońca mógłby zastąpić motor o dzielności 10,5 koni parowych.



Energja którą słońce wypromieniowuje w ciągu roku, wynosi  $35.10^{32}$  kal. gr., albo  $55.10^{26}$  koni godzinnych. Gdyby energja, którą słońce wydziela, równomiernie była rozmieszczona w obrębie całej bryły słonecznej, to wobec objętości słońca  $14.10^{32}$  cm<sup>3</sup> wynika, że każdy centymetr sześcienny materji słonecznej wydawałby 2,5 kal. gr. ciepła rocznie. Ponieważ dalej masa słońca wynosi  $2.10^{30}$  kg., więc przy równomiernem rozmieszczeniu energii wydzielanej, t. j. w założeniu że równe pod względem masy części słońca wydzielają równe ilości energii, znajdujemy, iż każdy kilogram masy słońca wydelałby rocznie 1750 kal. gr.

Szeregi liczb, które w rozdziale niniejszym nagromadziliśmy, być może u niejednego czytelnika wywołają znużenie. Są to bowiem liczby bardzo wielkie i co do tego nie ulegajmy złudzeniu, które mogłoby wywołać zastosowany krótki sposób wyrażania tych liczb. Istotnego ich znaczenia nie uprzytomni sobie najbujniejsza fantazja. Pomimo to wszelkie wnioski, dotyczące zagadnienia energii słońca, któreby się z temi liczbami nie liczyły, nie zasługiwałyby na zaufanie, jako pozbawione realnej podstawy.

Jedną z kwestji, która w badaniach nad źródłami energii słonecznej ma znaczenie pierwszorzędne, jest kwestja temperatury słońca. Niezbyt jeszcze dawno w tym tak ważnym przedmiocie nauka nie posiadała żadnych pozytywnych danych, a szacowania poszczególnych badaczy, oparte na najrozmaitszych punktach widzenia, w bardzo rozległych zawarte były granicach — od 1 400 do 10 000 000 stopni.

Dopiero w ostatnich lat dziesiątkach do badania temperatury słońca dwie ściśle zastosowane zostały metody. Jedna z nich, stosowana i dawniej, opiera się na niewątpliwie istniejącym związku pomiędzy energją promieniowania danego ciała a jego temperaturą. Jednakże stosowanie tej metody nie dawało godnych zaufania wy-

ników, a przyczyną tego była nieznajomość tej zależności, która pomiędzy temperaturą a energią promieniowania zachodzi. Dopiero przed trzydziestu laty zależność ta została odkryta, i znana jest obecnie w nauce od nazwiska odkrywcy, jako prawo Stefana.

Prawo to odnosi się do ciała doskonale czarnego i opiewa, że natężenie promieniowania ciała doskonale czarnego jest proporcjonalne do 4-ej potęgi jego bezwzględnej temperatury (t. j. liczonej od  $-273^{\circ}$ ).

Dla wyjaśnienia tego prawa zaznaczymy, że różne ciała, rozgrzane do tej samej temperatury, promieniują z natężeniem niejednakowem. Według prawa Kirchhoffa zdolność emisyjna każdego ciała równa się jego zdolności absorbcyjnej. Wynika stąd, że gdy przez 1 oznaczymy zdolność absorbcyjną ciała doskonale czarnego, to i zdolność emisyjna takiego ciała równa się 1. Natężenie promieniowania jakiegokolwiek ciała rzeczywistego będzie oczywiście mniejsze od natężenia promieniowania ciała doskonale czarnego i tem mniejsze, im mniej podających na nie promieni ciało to absorbuje. Z ciał znanych przy danej temperaturze najsilniej promieniuje sadza, której zdolność absorbcyjna jest największa.

Ponieważ w praktyce, gdy chodzi o otrzymanie temperatury promieniującego ciała z natężenia promieniowania, ciało to nigdy nie jest doskonale czarnem, więc też prawo Stefana nie określa tu dokładnie związku między promieniowaniem a temperaturą. Gdy je pomimo to stosujemy, to znajdujemy tylko t. zw. efektywną temperaturę promieniującego ciała, t. j. temperaturę jego w założeniu, że jest ono ciałem doskonale czarnem. Gdy jednakże znana jest zdolność emisyjna (lub absorbcyjna) promieniującego ciała, jako ułamek zdolności emisyjnej (lub absorbcyjnej) ciała doskonale czarnego, to z temperatury efektywnej można obliczyć

temperaturę rzeczywistą, dzieląc ją przez pierwiastek 4-go stopnia zdolności emisyjnej, w sposób powyższy określonej.

Zastosowanie prawa Stefana do określenia temperatury słońca, jak łatwo zauważyć, następuje tę trudność, że nieznaną nam jest zdolność emisyjna ciał, które wypromieniowują w przestwór energię słoneczną. Jak wiadomo, zewnętrzne warstwy słońca składają się z rozżarzonych gazów i par rozmaitych pierwiastków chemicznych, pośród których są też na ziemi nieznane. Zdolność emisyjna ciał lotnych jest bardzo mała, chyba że znajdują się pod wielkiem ciśnieniem; nie wiemy jednakże, ani którym ciałom na słońcu przypisać najsilniejsze promieniowanie, ani oczywiście tego, pod jakim ciśnieniem się one znajdują.

W tych warunkach może być mowa tylko o wyznaczeniu efektywnej temperatury słońca; wartość temperatury rzeczywistej otrzymamy w zależności od hipotezy, którą zrobimy co do zdolności emisyjnej warstw promieniujących.

Gdy przyjmiemy dla stałej słonecznej wartość 2,4, to na podstawie prawa Stefana otrzymuje się jako efektywną temperaturę słońca, liczoną od bezwzględnego zera,  $6163^{\circ}$ , albo też  $5890^{\circ}$  C. Aby mieć wyobrażenie o tem, w jaki sposób określenie prawdziwej temperatury zależy od przyjętej hipotezy co do zdolności emisyjnej warstw promieniujących, obliczmy ją dla dwóch różnych hipotez. Gdy przyjmiemy, że zdolność emisyjna wynosi 0,1, otrzymamy temperaturę  $10690^{\circ}$  C., gdyby zaś zdolność ta wynosiła 0,3, temperatura odpowiednia byłaby  $8050^{\circ}$  C. Która z tych dwóch wartości bardziej zbliża się do prawdy, nic o tem sądzić nie możemy. Prawdopodobne jest tylko, że jeżeli temperatura warstw promieniujących jest wyższa od wyżej otrzymanej temperatury  $10690^{\circ}$  C., to nie jest o wiele

wyższa; pewnem zaś jest, że nie jest ona niższa, niż temperatura efektywna  $5890^{\circ}\text{C}$ .

Jak widzimy, wyniki są cenne, ale nie są one jeszcze tak pewne i kompletne, jakbyśmy sobie tego życzyć mogli.

Kontroluje i uzupełnia te wyniki druga metoda badania, o której wspomnieliśmy wyżej. Opiera się ona na zasadzie zupełnie innej, którą w krótkości wyjaśnimy.

W rozdziale II, opisując widmo słońca, zaznaczyliśmy, że działanie termiczne jest największe u promieni, których długość fali jest bliska  $0,5\ \mu$ . Identyfikując działanie termiczne z energją ogólną, możemy powiedzieć, że w widmie słońca największa energia objawia się przy długości fali  $0,5\ \mu$ .

Otóż to miejsce widma, gdzie energia promienienia jest największa, jest ściśle zależne od temperatury źródła światła, mianowicie przesuwają się ono od dłuższych fal ku krótszym, gdy temperatura rośnie. W tym względzie wykrył ważne prawo Wien, które opiewa, że dla każdego ciała iloczyn bezwzględnej temperatury i długości fali promieni, których energia jest największa, ma wartość stałą, zależną od zdolności emisyjnej tego ciała.

Dla ciała doskonale czarnego wartość tej stałej, gdy długość fali wyrazimy w  $\mu$ , wynosi według Wiena 2940. Wystarczy więc liczbę tę podzielić przez  $0,5$ , aby otrzymać efektywną temperaturę słońca, liczoną od bezwzględnego zera. Otrzymuje się  $5880^{\circ}$  bezwzgl. Jak widzimy, wynik mało się różni od otrzymanego na podstawie prawa Stefana, a że nie zgadza się z nim całkowicie, to łatwo zrozumieć, gdy zważymy, że liczba  $0,5\ \mu$  jest tylko liczbą okrągłą i tylko z przybliżeniem do kilku setek  $\text{\AA}$  określa długość fali promieni, których energia jest największa. Niestety dokładniejszej wartości dotąd uzyskać się nie udało.



Jako podstawę dalszych naszych wywó<sup>o</sup>dów możemy przyjąć temperaturę rzeczywistą (t. j. nie efektywną),  $10000^{\circ}\text{C.}$ , która w każdym razie nie jest za niską, a od prawdziwej prawdopodobnie bardzo się nie różni. Jest to temperatura tak wysoka, iż trudno orzec, czy w warunkach ziemskich może być wytworzona, w każdym zaś razie zapomocą znanych metod nie może być wymierzona. Wszystkie ciała znane na ziemi mogą w takiej temperaturze istnieć tylko w stanie lotnym, bez względu na ciśnienie, jakiemu byśmy je poddali.

---

## ROZDZIAŁ IV.

Zagadnienie energii słońca w postaci ogólniejszej. — Zapas wewnętrznej energii słońca; hipotezy orientacyjne. — Hipoteza pożaru i poglądy Kanta. — Dyssocjacja chemiczna na słońcu.

Dalsze wnioski, dotyczące energii słońca, opierać się będą na faktach, które przez argumentację poprzednich rozdziałów uważamy za ustalone. Akcentując niektóre z nich na tem miejscu, stwierdzamy, że słońce jest kulą, której objętość wynosi  $14,10^{32}$  cm.<sup>3</sup>, a masa  $2,10^{30}$  kg., utworzoną z ciał lotnych, których temperatura na powierzchni kuli wynosi  $10\,000^{\circ}$  C, i promieniującą w przestwór energję promienistą tak, jak to wypływa z temperatury powierzchni promieniującej oraz jej zdolności emisyjnej.

Prócz tego wiemy, że słońce to świeciło ziemi w zamierzchłych epokach geologicznych, przyświecało ludzkości w krótkim stosunkowo okresie ostatnim jej dziejów, przez historję badanych, że świeci dziś i świecić będzie.

Naturalnie tych kilka wiadomości o słońcu, które wyżej zaakcentowaliśmy nie tłómaczą nam tej miliony lat obejmującej przeszłości słońca, ani nie usprawiedliwiają tej naszej ufności w przyszłość. A pomimo to w tym względzie nie różnimy się od ludzi pierwotnych czy współczesnych, którzy nie stawiają przyrodniczego pytania „dlaczego?“, ale wiedzą, że taką jest natura

słońca, iż świeci i grzeje, i dziwią się, jak ktoś inny może o tem nie wiedzieć. Jednakże my chcemy wiedzieć, dlaczego.

I nie mamy powodu istotnego, ażeby sądzić, że zagadka słońca jest pośród niezliczonych zagadek przyrody jakąś specjalnie trudną zagadką. Nie jest to w każdym razie jakieś zjawisko wyjątkowe, albo co więcej unikat w przyrodzie. Wiemy przecie, że miliony gwiazd są to wszystko słońca, do naszego podobne, tylko znacznie bardziej od nas odległe, których ciepła nie odczuwamy, ale których światło donosi ziemi i jej mieszkańcom, że i one wysyłają energję promienistą przez równie wielkie okresy czasu, jak nasze słońce.

Gdy więc staniemy na stanowisku ogólniejszem, zgodzimy się na to, że zamiast pytać, czemu grzeje i świeci słońce, możemy też zapytać, czemu świecą gwiazdy. Zagadnienie jest w gruncie rzeczy to samo.

Jest to okoliczność pomyślna z tego względu, że rozwiązanie tego zagadnienia oprócz będziemy mogli na materiale obserwacyjnym, dotyczącym nie tylko słońca, ale i wszystkich gwiazd. Materiał ten wzajemnie się uzupełnia; zobaczymy potem, pod jakim względem.

Oczywiście uważając słońce za zjawisko równorzędne z innemi zjawiskami przyrody, uznajemy też, że podlega ono znanym ogólnym prawom, nie przesądzając zresztą, czy nie działają tu jeszcze inne prawa, dotąd nieznane. Wobec tego więc i w stosunku do słońca uważamy za słuszne twierdzenie, że perpetuum mobile jest niemożliwe. Można je wyrazić też w ten sposób, że energja nie może być unicestwioną, ale nie może też być z niczego stworzoną.

Słońce, jak to wynika ze spostrzeżeń, jest ciałem, w przestrzeni izolowanem, oddzielonem od innych dostępnych obserwacji ciał olbrzymiemi odległościami. Jest ono siedliskiem energii, która wydziela się nazew-

natrz, dzięki czemu wiemy o jego istnieniu. Ponieważ rozmiary słońca są ograniczone i masa jego ma wartość skończoną, więc ilość energii na słońcu zgromadzona, również jest skończona.

Stojąc na stanowisku, wynikającym z obserwacji, powiedzieć możemy, że nie wiemy nic o jakichś źródłach zewnętrznych, które by w wydatniejszej mierze zasilały słońce energją, wiemy natomiast, że słońce wielkie ilości energii wysyła w przestwór. Skoro ta wydzielona energja nie znajduje kompensaty z zewnątrz, więc słońce ją traci. Skoro zaś ilość energii słonecznej jest skończona, więc jeżeli ją słońce tracić będzie i nadal, to ją też utraci całkowicie w czasie skończonym.

Czas, który do chwili zupełnego wyczerpania się energii słońca upłynie, zależny jest oczywiście od zapasów energii, które słońce rozporządza, oraz od ilości energii, którą słońce w określonym przeciągu czasu tracić będzie.

Jakie są te zapasy, nie wiemy, możemy jednakże celem jakiej takiej orientacji wypróbować kilka hipotez, które się nam narzucają. Przypuśćmy więc najprzód, że wszystka energja, którą słońce rozporządza, została użyta na ogrzanie go do temperatury przyjętej  $10000^{\circ}\text{C}$ , że zatem temperatura ta w całej masie słońca jest jednakowa.

Gdyby słońce było kulą, utworzoną z wody, ilość nagromadzonego w niem ciepła możnaby przy pewnych upraszczających założeniach łatwo obliczyć. Przypuszczając mianowicie, że ilość ciepła, potrzebna do tego, aby temperaturę grama wody podnieść o  $1^{\circ}\text{C}$ , którą nazwalibyśmy kalorją gramową, jest przy każdej temperaturze jednakowo wielka, i nie wchodząc w to, że woda poniżej zera jest ciałem stałym, a powyżej  $100^{\circ}\text{C}$  zamienia się w parę, — znaleźlibyśmy, że na ogrzanie 1 grama wody od zera bezwzględnego, t. j. temperatury  $+273^{\circ}\text{C}$  do  $-10000^{\circ}\text{C}$ , potrzeba 10273 kal. gr. Że zaś



masa słońca wynosi  $2 \cdot 10^{33}$  gr., więc wypływa, że na ogrzanie całej masy słońca od bezwzględnego zera do temperatury  $10000^{\circ}$  C potrzebaby w przybliżeniu  $2 \cdot 10^{37}$  kal. gr.

Wynik ten ma swoje znaczenie, pomimo że wiemy, iż słońce nie jest kulą z wody, ogrzaną do  $10000^{\circ}$ , co zresztą jest niemożliwe. Z fizyki wiadomo, że ilość kalorii, potrzebna do podniesienia temperatury danego ciała o  $1^{\circ}$  C jest dla różnych ciał różną i nazywa się ciepłem właściwym tego ciała. Wyznaczając ciepło właściwe różnych ciał, znaleziono, że poza kilkoma wyjątkami, ciepło właściwe wody jest największe; dotyczy to również ciał lotnych, dla których, pomimo wyjątkowo wielkiego ciepła właściwego wodoru, wynoszącego 3,4, przeciętna wartość ciepła właściwego równa się 0,5.

Wyżej podana zatem ilość ciepła, która przy hipotezie równomiernego rozmieszczenia ciepła na słońcu reprezentować by miała zasób energii słonecznej, wobec lotnego stanu materji słonecznej jest zbyt wielka i, zgodnie z powyższemi wywodami, mamy prawo zredukować ją do połowy, t. j. przyjąć liczbę  $10^{37}$  kal. gr. jako ilość energii, zgromadzonej na słońcu.

Gdy porównamy ten zapasik z wydatkami słońca, to widzimy, że nie na długo by go starczyło. Widzieliśmy w poprzednim rozdziale, że słońce traci obecnie rocznie  $35 \cdot 10^{32}$  kal. gr.; przy takim wydatku wystarczałoby 2860 lat, aby słońce od dzisiejszej temperatury ostygło do bezwzględnego zera.

Gdyby ktoś nawet wyniku powyższego nie uważał za niemożliwy, to o niemożliwości jego przekonałby się już po kilku latach. Wiemy, że natężenie promieniowania związane jest z temperaturą promieniującego ciała prawem Stefana. Wynika z tego prawa, że gdyby temperatura słońca obniżyła się o 0,1 swej wartości, co nastąpiło by po upływie niespełna 300 lat, to wartość

stałej słonecznej zmniejszyła by się do 1,6. Ale ta zmniejszona energia promieniowania już o wiele wcześniej dała by się odczuć na ziemi, gdy zważymy, że zmniejszenie się stałej o 0,1 jej wartości oznacza dla ziemi ubytek roczny energii w ilości  $6 \cdot 10^{22}$  kal. gr.

Naturalnie wobec takiego ścisłego związku między temperaturą a promieniowaniem niemożliwym by było, ażeby słońce corocznie traciło jednakową ilość ciepła, skutkiem czego też okres stygnięcia słońca trwać by musiał znacznie dłużej, aniżeli wyżej podane 2860 lat. Ale dla naszych rozważań niema to znaczenia, nasze słońce nie stygnie tak szybko, bo o tem musiałyby nam też powiedzieć przeszłość. Gdyby mianowicie przed tysiącem lat temperatura słońca wynosiła  $13000^{\circ}$  C, jak to z przyjętego tempa stygnięcia wynika, to stała słoneczna miałaby wtedy wartość 7; przy takim promieniowaniu życie chyba może tylko gdzieś w bliskości biegunów byłoby możliwe. Faktycznie zaś wiemy, że warunki klimatyczne w okolicach, zamieszkanym przez narody historyczne, nie zmieniły się na tyle, abyśmy w ogóle o zmniejszeniu się stałej słonecznej w okresie historycznym myśleć mogli.

Z tych wszystkich względów musimy odrzucić przyjętą przez nas orientacyjną hipotezę, która nas jednakże pouczyła, że celem pozostania w zgodzie z faktami znanymi należy przyjąć, że zasób energii słonecznej wynosi znacznie więcej, niż  $10^{37}$  kal. gr.

Ale co do tego też nie mieliśmy wcale wątpliwości, i rzeczywiście ilość tę możemy traktować tylko jako dolną granicę i uważać, że zasób energii słonecznej jest niewątpliwie większy.

Bo z natury rzeczy najchłodniejszymi muszą być te warstwy słońca, które bezpośrednio stykają się z zimną próżnią i oddają jej swe promienie. Warstwy głębsze nie tylko są przed tem promieniowaniem chronione, ale też, wskutek ucisku warstw wyższych i zamiany tej

pracy na ciepło, rozgrzewane. Mamy więc prawo przypuszczać, że przyjęta przez nas wyżej temperatura  $10000^{\circ}\text{C}$ . jest temperaturą najniższą, jaka wogóle istnieje na słońcu, i że temperatura słońca jest coraz wyższą w miarę zbliżania się do środka słońca.

Jaką jest ta temperatura wnętrza słońca, jest to kwestja licznych badań teoretycznych; gdyby istniały jakieś podstawy doświadczalne, dotyczące warunków, jakie istnieją we wnętrzu słońca, mogłyby one doprowadzić do wyników cenniejszych. Ale i wyniki dotąd otrzymane nie są pozbawione pewnego orientacyjnego znaczenia.

Z badań tych wypływa temperatura wnętrza słońca bardzo wysoka. Według See'a temperatura w środku słońca conajmniej wynosi 10 milionów stopni. Że zaś przy innych założeniach może ona też wypaść znacznie wyższą, więc przyjmijmy, że nie temperatura w środku, ale średnia temperatura słońca wynosi  $10000000^{\circ}\text{C}$ .

W tem założeniu oczywiście też zasób energii nagromadzonej w słońcu byłby 1000 razy większy, niż wynikający z poprzedniej hipotezy. Wynosiłby on zatem  $10^{40}$  kal. gr. i starczyłby aż do zupełnego wyczerpania ciepła na okres 1000 razy dłuższy, niż poprzednio otrzymany.

Ale i przy tak wielkim zasobie ciepła ubytek jego po pewnym czasie musiałby się ujawnić w zmniejszającej się wartości stałej słonecznej. Pomiedzy średnią temperaturą a temperaturą powierzchni istnieje bowiem ścisły związek i z rachunków See'a można wyczytać, że w przybliżeniu, gdy temperatura średnia spada do połowy swej wartości, to temperatura na powierzchni spada o 0,1 swej wartości.

Aby temperatura średnia spadła do połowy swej wartości, musiałoby słońce wypromieniować oczywiście połowę swego ciepła, t. j.  $5 \cdot 10^{39}$  kal. gr., na co przy znanym wydatku rocznym słońca potrzebaby

1430000 lat. A więc dopiero po tym znacznie dłuższym okresie czasu, a nie już po 300 latach, jak przy poprzedniej hipotezie, stała słoneczna zmniejszyłaby się do wartości 1,6.

Wnioski, które z tych założeń wypływają dla przeszłości, są następujące. Przed 2860000 laty ilość energii, zgromadzonej na słońcu była dwa razy większa niż dziś, t. j. wynosiła  $2 \cdot 10^{40}$  kal. gr.; i temperatura jego średnia była dwa razy wyższa niż obecnie, temperatura zaś na powierzchni była o 0.1 swej obecnej wartości wyższa, a zatem wynosiła  $11000^{\circ}\text{C}$ . Stała słoneczna, odpowiadająca tej temperaturze, ma wartość 3.5.

Są to oczywiście grube przybliżenia, które powiadają, że stała słoneczna, przy założeniach uczynionych, w okresie czasu, około 4-ch i ćwierć miliona lat obejmującym, musiałby spaść od 3,5 do 1,6, i że my żyjemy w tej epoce wspomnianego okresu, gdy wartość tej stałej jest 2,4.

Wyniki te nie zawierają w sobie nic nieprawdopodobnego tembardziej, że z jednej strony nie wiemy, w jakich rozmiarach tego rodzaju zmiana wartości stałej słonecznej odbić by się musiała na stosunkach ziemskich, z drugiej zaś strony nie mamy dowodu na to, że w okresie ostatnich trzech milionów lat nie zaszły w warunkach ziemskich istotnie głębsze zmiany.

Jednakże znajdziemy się w sprzeczności ze znanymi faktami, gdy cofniemy się do jeszcze wcześniejszych okresów czasu. Przyjmując 3,5, jako wartość stałej słonecznej przed trzema milionami lat, znajdziemy, że przed dalszymi czterema milionami lat temperatura średnia słońca była 4 razy wyższa niż obecnie, a więc temperatura na powierzchni o 0,2 dzisiejszej wartości wyższa. Wartość stałej słonecznej, odpowiadająca tej temperaturze, byłaby 5,1. A gdy cofniemy się jeszcze o dalszych 5 milionów lat, a więc razem



o jakich 12 milionów lat od epoki dzisiejszej, to znajdziemy, że stała słoneczna miałaby wtedy wartość 7.

Nowe założenie zatem odsuwa na 12 milionów lat wstecz stan rzeczy, który, według poprzedniego założenia istniałby już przed lat tyciącem. Ale skądinąd wiemy, że i przed 12 milionami lat taki stan rzeczy istnieć nie mógł. Mianowicie badania geologiczne stwierdzają, że w tym czasie właśnie na ziemi panowały stosunki, nadzwyczaj sprzyjające rozwojowi fauny i flory, które odznaczały się wielkiem bogactwem, co przy tak silnem promieniowaniu słońca byłoby niemożliwe.

Ale do jakich jeszcze liczb doszlibyśmy, cofając się w przeszłość o te setki milionów lat, które według obliczeń geologicznych były potrzebne, aby utworzyły się warstwy skorupy ziemskiej, pełne śladów życia organicznego! Zresztą gdybyśmy tak wciąż cofając się w przeszłość, doszli wreszcie do chwili, którą moglibyśmy uważać za początek istnienia słońca, to w tej chwili średnia jego temperatura byłaby najwyższą, a promieniowanie najsilniejszym. Ten wynik zaś znajduje się w sprzeczności z tem wszystkiem, co o przeszłości słońca mamy prawo wnioskować na podstawie ścisłych danych naukowych.

Odrzucić zatem musimy i tę drugą hipotezę, że słońce wypromieniowuje energję, nagromadzoną w nim w postaci ciepła od początku jego istnienia, w ilości dowolnie wielkiej, byle skończonej.

Na razie zostawiliśmy zupełnie na stronie kwestję, skąd by to ciepło wziąć się miało na słońcu, i czy w istocie uprawnionem jest przyjęcie ilości dowolnej, czy też być może ilość ta jest ściśle określona pewnemi w samej naturze słońca tkwiącymi warunkami.

Co do pochodzenia ciepła, to, jak wiemy, może ono powstawać z innych form energji. W warunkach ziemskich najczęściej mamy możność obserwować zamianę energji kinetycznej na ciepło oraz ciepło reakcyj chemicznych, w szczególności zaś ciepło spalania.

Gdyby ciepło słoneczne przypisać można było spalaniu się na niem jakichś ciał palnych, to tem samem źródło ciepła słonecznego byłoby wiadome i chodziłoby tylko o to, ażeby także ilość ciepła, którą otrzymujemy, znalazła wyjaśnienie, a zarazem też długowieczność słońca oraz długotrwała niezmienność.

Że słońce jest wielkim odległym pożarem, był to pierwszy narzucający się pogląd przyrodniczy i pierwsza odpowiedź na pytanie, czemu słońce świeci i grzeje. Można by przytoczyć całe szeregi zasadniczych motywów, aby wykazać, że pogląd taki w dzisiejszym stanie nauki wogóle, a stanie wiadomości o słońcu w szczególności, z góry musi być odrzucony. Zamiast tego przytoczymy tylko krótki orientacyjny rachunek.

Przypuśćmy, że na słońcu pali się węgiel kamienny o największej wartości kalorycznej, którego gram spalając się wydziela 8800 kal. gr. ciepła. Do spalania 1 grama węgla na dwutlenek węgla potrzeba około  $2\frac{3}{4}$  grama tlenu. Gdyby więc słońce składało się z samego tylko węgla i tlenu w ilościach takich, aby zupełne spalanie się węgla było możliwe, to, wobec ogólnej masy słońca  $2 \cdot 10^{33}$  gramów, byłoby na nim węgla  $53 \cdot 10^{31}$  gr., a blisko  $15 \cdot 10^{32}$  gramów tlenu. Przy spaleniu się wszystkiego tego węgla wydzieliłoby się  $47 \cdot 10^{35}$  kalorji gramowych ciepła.

Ponieważ słońce traci rocznie  $35 \cdot 10^{32}$  kal. gr., więc widzimy, że ciepło, uzyskano przez spalanie wszystkiego węgla, wystarczyłoby zaledwie na lat 1340, a więc na okres czasu znikomo mały w porównaniu z rzeczywistym trwaniem promieniowania słońca. Dłuższy okres czasu otrzymalibyśmy, gdybyśmy zamiast węgla przyjęli, że ciałem, płonącym na słońcu, jest np. wodór, którego istnienie na słońcu w wielkiej obfitości stwierdza analiza widmowa.

Gdy gram wodoru z 8 gramami tlenu spala się na wodę, wydziela się 34200 kal. gr. ciepła. Gdyby

cała masa słońca składała się z wodoru i tlenu w takich ilościach, aby zupełne spalanie się wodoru było możliwe, to łatwo obliczyć, że ilość ciepła, wydzielona przy spalaniu, wynosiłaby  $76.10^{35}$  kal. gr., która przy takim promieniowaniu słońca, jak obecne, starczyłaby na 2170 lat.

Poświęcamy tej hipotezie pożaru więcej miejsca, niż na to zasługuje ze względu na inne znane fakta, odbierające jej nawet cień prawdopodobieństwa, ponieważ była to pierwsza hipoteza naukowo ugruntowana, mająca na celu wyjaśnić zagadkę promieniowania słońca, a autorem jej był twórca głośnej hipotezy kosmogonicznej K a n t.

Już K a n t jednakże, pomimo że co do ilości traczonego przez słońce ciepła nie miał żadnych danych liczbowych, przewidywał, że taki pożar nie mógłby trwać bardzo długo, gdyby nie było dopływu coraz nowego materiału palnego. Tę trudność rozwiązał K a n t w sposób bardzo prosty. Sądził on, że produkty spalania, unoszone prądami atmosfery słonecznej do wyższych jej warstw, tam się rozkładają znowu na swe części składowe, które, opadając niżej, podsycają pożar.

Taki pogląd dzisiaj oczywiście jest już niemożliwy, ponieważ znajduje się w sprzeczności z prawem zachowania energii. Jeżeli mianowicie przy utworzeniu się jakiegoś związku chemicznego uwalnia się pewna ilość energii, jak to na przykład przy paleniu się ciała ma miejsce, to ażeby produkt spalania, t. j. związek spalonego ciała z tlenem, rozłożyć na pierwiastki, trzeba na to przynajmniej tyleż energii, ile wynosiło ciepło spalania. Ponieważ zaś na słońcu to ciepło spalania ulotniło by się w przestwór, więc oczywiście nie byłoby też energii, któraby dokonać mogła rozkładu produktów spalania,

Mechanizm, wymyślony przez K a n t a, byłoby to oczywiście perpetuum mobile, które, jak dziś wiemy,

jest niemożliwe. Dodajmy nawiasem, że i cała hipoteza kosmogoniczna K a n t a prowadzi do wniosków iluzorycznych, ponieważ z prawem zachowania energii są w sprzeczności. Naturalnie nie możemy z tego powodu czynić zarzutów K a n t o w i, ponieważ prawo zachowania energii odkryte zastało dopiero w kilkadziesiąt lat później.

Dla nas wyniki otrzymane mają jednakże tę wartość, że mówią nam, jak drobnymi w stosunku do energii słonecznej są ilości energii, wydzielane przy reakcjach, które zaliczamy do najpotężniejszych. Z drugiej jednakże strony wskazują one nam, że jeżeli w reakcjach chemicznych chcielibyśmy upatrywać źródło energii promienistej słońca, to musielibyśmy jej szukać w takich tylko reakcjach, które mogą zachodzić na słońcu.

Analiza widmowa mówi nam, że pierwiastki chemiczne, które na ziemi spotykamy przeważnie połączone z innymi w związki chemiczne, na słońcu występują tylko w stanie niezwiązany. Taka dyssocjacja jest skutkiem tak wysokiej temperatury, panującej na słońcu, przy której reakcje, zachodzące w niskich temperaturach ziemskich, są już niemożliwe. Ale nie wynika stąd, aby nie mogły zachodzić na słońcu inne procesy chemiczne, których produktami np. mogłyby być ciała, uważane na ziemi za niezłożone.

Do tych kwestji powrócimy jeszcze później. Pomijając więc na razie sprawę chemicznego pochodzenia energii promienistej słońca, na podstawie rozważań tego rozdziału możemy powiedzieć, że jeżeli wszystka ta energia, którą słońce wypromieniowało w czasie swego istnienia i której pewnym zasobem dotąd jeszcze rozporządza, była umieszczona na słońcu od samego początku jego istnienia, to nie była ona na niem umieszczona odrazu w jedynej tylko postaci — ciepła.

---



## ROZDZIAŁ V.

Hypoteza zewnętrznych źródeł energii. — Warunek procesów ewolucyjnych; dwa możliwe przypadki takich procesów. — Energja gwiazd stałych; stała gwiazdowa. — Energja meteorów. — Hypoteza Roberta Mayera, jako pierwsza próba zastosowania termodynamiki do zjawiska słońca.

Końcowe uwagi poprzedniego rozdziału mówią nam, że zagadnienie energii słońca nie może być rozwiązane jedynie na podstawie wiadomości naszych, odnoszących się do współczesnej nam epoki istnienia słońca, jeżeli słońce wypromieniowuje nazewnątrz tylko własną energję, w którą na początku swojego indywidualnego istnienia zostało wyposażone.

Czy istotnie jednakże nie można przypuścić, że do słońca płynie bez przerwy energja z zewnątrz? Gdyby można stwierdzić istnienie jakiegoś wydatnego źródła zewnętrznego energii, z któregooby czerpało słońce, albo uzasadnić prawdopodobieństwo istnienia takiego źródła, to zrozumienie długowieczności słońca mogłoby się stać łatwiejszem; ale naturalnie wytłómaczenie jej, oparte jedynie na możliwości takich źródeł, o ile one faktycznie nie istnieją, mogłoby być zupełnie błędnem.

Jeżeli istnieją zewnętrzne źródła energii, to możliwe są trzy przypadki. Po pierwsze, słońce wypromieniowuje tylko tę energję, którą z zewnątrz otrzymuje. W tym przypadku działanie własnej energii

słońca nie mogłoby się ujawnić dla obserwatora zewnętrznego. Gdyby pozatem dopływ energii zewnętrznej był stały, to i słońce choćby przez całą wieczność obserwatorowi zewnętrznemu wydawać by się musiało niezmiennem.

Nieprawdopodobieństwo takiego stanu rzeczy zbyt jest wyraźnem, ażebyśmy się dłużej nad tym przypadkiem zastanawiać potrzebowali.

Drugi przypadek możliwy jest ten, że z zewnętrznego źródła przypływa do słońca większa ilość energii, aniżeli jej odpływa w przestwór wskutek promieniowania. Skutek takiego stanu rzeczy byłby ten, że na słońcu gromadziłaby się coraz większa ilość energii. Działanie tej energii na materję słońca ujawnić by się musiało w sposób odpowiedni, a zmiany, którymby słońce z biegiem czasu ulegało, byłyby wyrazem procesu ewolucyjnego, odbywającego się pod wpływem przybytku energii.

Trudno przypuścić, aby przy takim stanie rzeczy natężenie promieniowania słońca nazewnątrz mogło się utrzymać na stałym poziomie, lub co więcej, aby się mogło zmniejszać; przeciwnie wydaje się bardziej prawdopodobnem, że natężenie to z biegiem czasu w ogólności musiałoby wzrastać.

Trzecim możliwym przypadkiem byłby ten, że energia do słońca ze źródeł zewnętrznych przypływa, ale przypływa w ilości mniejszej, aniżeli jej słońce traci przez promieniowanie. To musiałoby pociągać za sobą przeobrażenia na słońcu, któreby były wyrazem procesu ewolucyjnego, odbywającego się pod wpływem ubytku energii.

Nie ulega wątpliwości, że proces ewolucyjny, któryby się w tych warunkach odbywał, miałby taki sam przebieg, jak gdyby źródeł zewnętrznych energii nie było wcale, tylko w tym ostatnim przypadku tempo procesu musiałoby być szybsze.

Widzimy więc, że proces ewelucyjny słońc można sobie wyobrazić dwojaki, a motorem każdego może być tylko zmiana zasobu energii, zgromadzonej w słońcu. Z tych dwóch procesów ten, którego motorem jest przyrost zasobów energii, wymaga, jako koniecznego warunku, istnienia bogatych zewnętrznych źródeł energii, drugi takich źródeł nie potrzebuje. Zresztą słońce przy obu tych procesach przechodziłoby przez te same stany, tylko chronologia tych stanów przy obu procesach byłaby odwrotna.

Gdybyśmy więc pośród słońc, widzialnych w postaci gwiazd, wybrać byli w stanie szereg takich, które znajdują się w kolejno po sobie idących fazach ewolucji, to jednakże nie moglibyśmy stanowczo orzec, gdzie jest początek, a gdzie koniec szeregu, zanimbyśmy nie rozstrzygnęli kwestji, czy z istnieniem zewnętrznych źródeł energii liczyć się należy.

Prócz słońca znane są nam jeszcze dwa zewnętrzne źródła energii, które też możemy uważać za źródła zewnętrzne energii dla słońca. Jednem z tych źródeł są gwiazdy.

Gdy promienie słońca drganiem eteru przeszczepiają się w przestwór, natrafiają one na wszystkie materialne utwory wszechświata, o ile wskutek jakichś specjalnych warunków nie są dla tych promieni zakryte. To samo można powiedzieć o promieniach, wysyłanych przez inne słońca wszechświata. Ta przybywająca od innych słońc energia oczywiście zwiększa własny zasób energii każdego ze słońc, a więc i naszego.

Postaramy się w przybliżeniu ująć w liczby ilość energii, którą nasze słońce otrzymuje od gwiazd.

O istnieniu gwiazd wiemy, ponieważ dochodzi do nas ich światło i ponieważ oko jest organem bardzo wrażliwym, reagującym nawet na słabe promienie optycznej części widma. Zresztą stwierdzamy obecnie też energję chemiczną tych promieni, którą zużytkowujemy

do fotografowania gwiazd, a nawet zapomocą bardzo czułych przyrządów ich energję termiczną.

Gdy chodzi o ilościowe określenie energii, otrzymywanej przez nas od gwiazd, to najłatwiej uzyskać liczby przybliżone, odnoszące się do ilości otrzymywanego światła. Mianowicie statystyka gwiazd skatalogowanych (prawie wszystkich gwiazd od najjaśniejszych aż do 10-ej wielkości) prowadzi do wyniku, że liczba gwiazd każdej danej wielkości jest średnio 3,5 razy większa, aniżeli liczba gwiazd poprzedniej wielkości. Z drugiej strony widzieliśmy poprzednio, że ilość światła, otrzymywana od gwiazdy danej wielkości, jest 2,5 razy większa, aniżeli otrzymywana od gwiazdy następnej wielkości.

Wynika stąd, że ilość światła, którą otrzymujemy od wszystkich gwiazd danej wielkości, jest 1,4 razy większa od ilości światła wszystkich gwiazd poprzedniej wielkości.

Gdy ten wynik statystyki rozszerzymy na wszystkie, nawet tylko przez największe teleskopy widzialne gwiazdy, aż do 18-ej wielkości, to za pomocą łatwego rachunku znajdziemy, że od wszystkich gwiazd otrzymujemy tyle światła, co od 21000 gwiazd 1-ej wielkości.

Ze statystyki, odnoszącej się do gwiazd mniejszych niż 10-ej w., acz tylko fragmentarycznej, wynikać się zdaje prawie na pewno, że stosunek liczby gwiazd sąsiednich wielkości maleje wraz z wielkością. W takim razie wyżej podana ilość ogólna światła gwiazd byłaby zbyt wielka. Będziemy ją więc też uważali za liczbę maksymalną.

Widzieliśmy, że światło, które otrzymujemy od słońca, dorównywa światłu 190 miliardów gwiazd 1-ej w., a zatem od wszystkich gwiazd razem otrzymujemy co najwyżej jedną dziewięciomiljonową część tej ilości światła, co od słońca.



Ażeby zdobyć jaką taką orientację co do ogólnej ilości energii, którą otrzymujemy od gwiazd, przypuśćmy, że do ogólnej ilości energii otrzymywanej od słońca znajduje się ona w takim samym stosunku, jak oświetlenie przez gwiazdy do oświetlenia słonecznego. Ponieważ ziemia otrzymuje od słońca na minutę  $305 \cdot 10^{16}$  kal. gr., więc według powyższego założenia otrzymuje ona od gwiazd  $34 \cdot 10^{10}$  kal. gr.

Jak widzimy jest to ilość energii wcale pokaźna, która przez rok czyni  $18 \cdot 10^{16}$  kal. gr., ale wielkość, odpowiadająca stałej słonecznej, którą przez analogję nazwijmy stałą gwiazdową, wynosi zaledwie 0,00000027. Tyle zatem energii, wyrażonej w kalorjach gramowych, otrzymywałyby od gwiazd  $1 \text{ cm}^2$  powierzchni ziemi w minucie, gdyby wszystkie gwiazdy zgromadzone były w zenicie, co czyni średnio 0,00000007 kal. gr. na  $\text{cm}^2$  i minutę.

Ponieważ słońce nasze znajduje się w tej samej okolicy świata, co i ziemia, więc możemy przyjąć dla niego tę samą wartość stałej gwiazdowej, co dla ziemi. Że zaś powierzchnia słońca według zestawienia II rozdziału ma  $61 \cdot 10^{21} \text{ cm}^2$ , więc otrzymuje ono od gwiazd na minutę  $43 \cdot 10^{14}$ , a rocznie  $22 \cdot 10^{14}$  kalorii gramowych. Jest to wobec  $35 \cdot 10^{32}$  kal. gr., które słońce rocznie wydaje, ilość znikoma. Gdybyśmy jej chcieli przypisać jakąś rolę w procesie ewolucyjnym, to zważywszy, że jest ona  $16 \cdot 10^{11}$  razy mniejszą od tej ilości energii, którą słońce rocznie traci, obliczymy z łatwością, aż gdyby proces ewolucyjny słońca, połączony z utratą wszystkiej własnej energii, miał trwać pięć miliardów lat, to skutkiem dopływu energii od gwiazd proces ten trwałby o jeden dzień dłużej.

Widzimy więc, że jedno z dwóch wspomnianych zewnętrznych źródeł energii, które słońce zasilają, jest tak małe, że w zagadnieniu o pochodzeniu energii słonecznej i w kwestjach, odnoszących się do przemian

słońca w czasie jego istnienia, może zupełnie nie być brane w rachubę.

Drugie źródło energii zewnętrznej stanowią meteory. Z całą stanowczością możemy twierdzić, że źródło to istnieje dla ziemi, ponieważ spadanie meteorów na ziemię i wdzieranie się do jej atmosfery stwierdza obserwacja.

Nie możemy uważać za rozstrzygniętą kwestję, czy zasadniczo różnemi zjawiskami są z jednej strony aerolity, spadające na ziemię, i wielkie kule ogniste czyli bolidy, z drugiej zaś strony t. zw. gwiazdy spadające. W każdym razie różnica co do rozmiarów nie ulega wątpliwości.

Dla ziemi najbardziej wchodzi w rachubę gwiazdy spadające wskutek swej olbrzymiej liczby, pomimo swej niewielkiej masy. Średnia prędkość tych ciałek w przestrzeni, a więc w przybliżeniu też wszystkich meteorów wogóle, wynosi 44 km na sekundę. Ponieważ prędkość ziemi w drodze dookoła słońca wynosi prawie 30 km na sekundę więc względna prędkość meteoru i ziemi zawarta jest w granicach 14 do 74 km na sekundę.

W tak szybko poruszających się ciałach mieści się spory zasób energii kinetycznej, gdyż jest ona proporcjonalna do kwadratu prędkości. Tak na przykład energia kinetyczna meteoru o masie 1 grama przy prędkości 74 km na sek. zamieniona na ciepło, wynosi 654000 kal. gramowych. Tyle więc energii przynosi na ziemię gramowy meteor, spadający z powyższą prędkością. Zauważymy nawiasem, że część powyższej energii zdobywa ziemia kosztem swej energii kinetycznej, która zostaje zużyta na zatrzymanie ruchu meteoru.

Gdy jako średnią prędkość meteorów przyjmiemy 44 km/sek., to każdy gram materji meteorów daje ziemi 230000 kal. gr. ciepła. Przyjmując według przybliżonego szacunku, że masa meteorów, które w ciągu doby

spadają na ziemię, wynosi 100000 kg., znajdziemy, iż energja, którą ziemia otrzymuje od meteorów w ciągu roku, ocenia się na  $85.10^{11}$  kal. gr.

Jest to, jak widzimy, ilość przeszło 20000 razy mniejsza nawet od tej ilości energii, którą otrzymujemy od gwiazd. Być może szacowanie nasze co do masy spadających na ziemię meteorów jest zbyt skromne, gdybyśmy ją jednakże powiększyli nawet tak znacznie, że tak wielką z pewnością nie jest, to jeszcze energja meteorów w porównaniu z energją, płynącą od słońca, jest ilością znikomą i na warunki ziemskie żadnego wpływu nie wywiera.

Czy jednakże ten wniosek ostatni zastosować też można do słońca?

Kiedy w pierwszych dziesięcioleciach XIX wieku coraz silniejsze zdobywała podstawy nauka o zamianie energii kinetycznej na ciepło i odwrotnie, zaczęto też z tego stanowiska zapatrywać się na słońce. Twórca termodynamiki Robert Mayer pierwszy wygłosił zdanie, że słońce jest zjawiskiem termodynamicznem.

Ponieważ promieniowanie słońca w ciągu długich okresów czasu zachowuje natężenie niezmiennie, z czego też wynika, że temperatura słońca się nie obniża, co, zdaniem Mayera, byłoby niemożliwe, gdyby słońce czerpało tylko z zapasów własnej energii, więc wywnioskował on, że istniejący stan równowagi możliwy jest tylko pod tym warunkiem, jeżeli słońce otrzymuje z zewnątrz tyleż energii, ile jej samo nieprzerwanie traci przez promieniowanie. Nie znajdując innych prawdopodobnych zewnętrznych źródeł energii, Mayer wywnioskował, że źródłem takim może być jedynie energja kinetyczna ciał, spadających na słońce.

Naturalnie gdy przyjmuje się hypotetyczne źródło, którego istnienia sprawdzić nie można, to nic nie stoi na przeszkodzie też wszelkim hipotezom dodatkowym, których celem jest doprowadzić do zgody między głów-

na tezę a spostrzeżeniami, byle tylko nie znajdowały się w sprzeczności ze znanymi faktami.

Analogję do tych ciał spadających na słońce widział *Mayer* w meteorach, spadających na ziemię. Widzieliśmy, jakie prędkości tych ostatnich wchodzi w rachubę, gdy uwzględnimy prędkości ziemi i meteorów w ich drogach. *Mayer* bierze pod uwagę tylko tę prędkość, jakaby posiadało w chwili spadania na słońce ciało, któreby przyciągnięte zostało przez słońce z niezmierzonej odległości. Wiemy, że i na ziemi ciało z tem większą prędkością spada, z im większej spada wysokości, ale granica, do której zmierza ta prędkość przy nieograniczonym wzroście odległości, z której ciało zostałoby przyciągnięte, wynosi tylko 11,2 km/sek. Ta prędkość graniczna zależy od masy przyciągającego ciała i dla słońca wynosi ona 614 km/sek.

Energja kinetyczna ciała, biegnącego z taką prędkością, zamieniona na ciepło, wynosi  $45 \cdot 10^6$  kalorii gramowych na gram masy, a więc przeszło 1300 razy tyle, ile się uzyskuje przy spaleniu grama wodoru w tlenie. Wobec  $35 \cdot 10^{32}$  kal. gr., które słońce wypromieniowuje w ciągu roku, trzeba by  $78 \cdot 10^{24}$  gramów spadających z tą maksymalną prędkością ciał, aby ten roczny wydatek pokryć.

Nie chcemy z góry przesądzać, czy przypływ ciał zewnętrznych ze wszystkich stron świata w takiej ilości, jaka potrzebna jest do objaśnienia promieniowania słońca, jest możliwy czy też nie, natomiast zastanówmy się, czy inne konsekwencje, wypływające z tej hipotezy, dadzą się pogodzić ze znanymi faktami.

Oczywiście przedewszystkiem z powodu ciągłego przypływu mas obcych musiałaby się stale zwiększać masa i objętość słońca, chodzi tylko o zbadanie w jakim czasie zmiany te mogłyby być stwierdzone przez obserwacje ziemskie.



Masa słońca wynosi  $2.10^{33}$  gramów, jest więc 25640000 razy większa od rocznego przyrostu; w ciągu 78 lat przyrost wynosiłby dopiero tyle, co masa kuli ziemskiej. Błąd w określeniu masy słońca wynosi z pewnością co najmniej 600 razy więcej; to znaczy, że przyrost masy słońca za pomocą dzisiejszych metod wyznaczenia tej masy mógłby być stwierdzony dopiero po upływie jakich 50000 lat.

Wiele też czasu potrzebaby, aby stwierdzić wzrost objętości słońca. Gdy przypuścimy, że materia meteorów, ułotniwszy się po spadnięciu na słońce, otrzymuje gęstość, równą średniej gęstości słońca, mianowicie 1,4, to objętość corocznie na słońce spadającej materji wynosiłaby  $56.10^{24}$  cm<sup>3</sup>. Łatwo obliczyć, że gdyby cała ta materia na powierzchni słońca ułożyła się w warstwę wszędzie jednakowej grubości, to grubość jej wynosiłaby zaledwie 9 metrów.

Kąt, pod którym widzimy promień tarczy słonecznej, wynosi przy średniej odległości 960''; pod kątem więc, równym 0''01, widzialna jest jedna dziewięćdziesięcio-sześć-tysieczna część promienia kuli słonecznej; długość takiej części, przy długości promienia słońca  $69.10^7$  m., wynosi 7000 metrów.

Granica dokładności, z jaką wielkość kątową promienia słońca przy pomocy dzisiejszych metod wyznaczyć możemy, nie wynosi nawet dziesiątej części sekundy, a więc zwiększenie się promienia o 70 km jeszcze nie mogłoby być stwierdzone. Na to zaś, aby przyrost ten w istocie tyle wyniósł, trzebaby, aby meteory w ilości, potrzebnej do kompensaty traconej energii, spadały na słońce przez 8000 lat.

Widzimy z powyższych wywodów, że hipoteza Mayera nie znajduje się w sprzeczności z niezmiennością masy i objętości słońca. W istocie byłaby to niezmienność pozorna, ponieważ zmiany przez długie okresy czasu, t. j. długie w porównaniu do okresu cza-

su, z którego posiadamy jako tako dokładne dane o rozmiarach słońca, byłyby zawarte w granicach błędów określenia tych rozmiarów. Naturalnie, z tego, że tej sprzeczności nie ma, nie wynika oczywiście, aby na pochodzenie energii słońca przy dzisiejszym stanie wiedzy można było się w ten sposób zapatrywać.

Hypoteza Mayera ma wielkie znaczenia w historii wiedzy, jako pierwsza próba termodynamicznego objaśnienia zjawiska słońca, po której nastąpiły inne. Jednakże nie przemawiała ona nigdy do, że się tak wyrazimy, uczucia naukowego. Słońce, które według drastycznego wyrażenia Leverrier'a, na śniadanie, obiad i kolację pożera meteory, i one dopiero dają mu energję życiową, nie budzi wielkiego zaufania. A takimi oczywiście musiałyby być też wszystkie inne słońca wszechświata.

Ale jest też wiele względów rzeczowych, które przemawiają przeciw hipotezie Mayer'a. Przedewszystkiem wiemy, że meteory, które obserwujemy na ziemi, są zjawiskiem bardzo zmiennem pod względem natężenia, z którym występują. Nie mamy też żadnych podstaw do twierdzenia, że na słońce spadać musi meteorów zawsze ilość jednakowa w równych odstępach czasu, przeciwnie możemy uzasadnić, że tak nie jest.

Gdyby na słońce ze wszystkich stron stałym prądem spływały meteory, to musiałyby one po drodze spotykać i ziemię, na którą spadałyby tylko pod działaniem przyciągania słonecznego z prędkością 42 km/sek. Ilość meteorów, które spadłyby na ziemię, wynosiłaby przynajmniej tyle, ile jej przypada ze względu na stosunek powierzchni jej przekroju do powierzchni kuli o promieniu, równym odległości ziemi od słońca. Stosunek ten, jak widzieliśmy, wynosi  $1/22.10^8$ , a więc masa spadających rocznie na ziemię meteorów równałaby się  $35.10^{15}$  gramom. Jest to 6600 razy więcej, aniżeliśmy przyjęli poprzednio, szacując tę masę według danych

obserwacyjnych. Jest rzeczą zupełnie wykluczoną, aby błąd szacowania tej wielkości można było popełnić.

Energja tych spadających na ziemię z prędkością 42 km. na sekundę meteorów czyniłaby  $74 \cdot 10^{20}$  kal. gr. rocznie, co wobec  $16 \cdot 10^{23}$  kal. gr., otrzymywanych przez ziemię od słońca, wynosiłoby 216-tą część tej ostatniej. Ciepło od meteorów nie byłoby zapewne bez znaczenia dla warunków ziemskich.

Zwrócimy jeszcze uwagę na trudności, z którymi spotkałaby się ta hipoteza, gdybyśmy wyciągnęli z niej konsekwencje dla całego okresu geologicznych przemian ziemi. Cofając się w przeszłość coraz bardziej, znajdowałibyśmy coraz mniejszą masę słońca, a w związku z tem coraz mniejszą prędkość spadających na nie meteorów. Przy mniejszej prędkości coraz większą musiałaby być ich masa, aby określoną ilość traconej przez słońca energii pokrywać. W ten sposób doszlibyśmy do wniosku, że masa słońca równała się zeru; a więc że go wcale jeszcze nie było, w czasie, gdy na ziemi odbywały się już procesy geologiczne, które pozostawiły ślady do dziś w budowie skorupy ziemskiej.

Jeżeli zaś słońca nie było, to jakaż siła nadawała tym rozproszonym po przestworzu drobnym ciałom kosmicznym kierunek ku temu punktowi, w którym z czasem, jako zlepek tych ciał utworzyć się miało słońce?

Jak widzimy, zarzutów wiele i nawet zbyt wiele, gdy na problemat słońca spoglądać będziemy zgodnie z dzisiejszym stanem wiedzy. I obecnie nie utracił znaczenia pogląd Mayera, że słońce jest zjawiskiem termodynamicznem; ale nie szukamy dziś już zewnętrznych źródeł energii, bo wiemy, że byśmy ich nie znaleźli.

## ROZDZIAŁ VI.

Obszerniejsze określenie pojęcia słońca i początku słońca. — Ewolucja słońca na podstawie badań widmowych. — Koncentracja, stygnięcie, różniczkowanie się chemiczne materji. — Energia grawitacyjna słońca. — Hypoteza Helmholtza. — Badania teoretyczne Thomsona i Rittera. — Wnioski.

Odrzucając, zgodnie z wnioskami poprzedniego rozdziału, hypotezę źródeł zewnętrznych, z których by słońce czerpać miało energję celem pokrywania strat, ponoszonych przez promieniowanie, i stojąc na stanowisku ewolucyjnem, musimy pojęciu słońca i początku słońca nadać znaczenie obszerniejsze. W tem znaczeniu obszerniejszem przez słońce będziemy rozumieli wprost materję słońca, a jako początek słońca określimy moment, kiedy materja ta w postaci jakiegokolwiek, ale o masie tej samej, co dziś, wyposażona w ilość energii, równą sumie energii od tego początku do dziś już utraconej oraz dotąd jeszcze zachowanej, znalazła się w przestrzeni, jako izolowany od innych przedmiot kosmiczny.

Mówiąc o energii już utraconej, stwierdzamy, że za motor procesu ewolucyjnego słońca przyjmujemy stały ubytek energii, co, jak widzieliśmy w rozdziale V, jest prostą konsekwencją nieistnienia zewnętrznych źródeł energii. Zauważyliśmy też we właściwem miejscu, że celem poznania tego procesu ewolucyjnego użytkować możemy nietylko materiał obserwacyjny, od-



noszący się do naszego słońca, ale też do gwiazd, które przecież również są słońcami. Wnioski, do których nauka w tym względzie doszła, podajemy, przytaczając kilka ustępów z książki, dawniej przez nas wydanej, pod tytułem „Budowa świata“.

Widzieliśmy w rozdziale II, że w widmie słońca brak promieni pewnych długości fali, wskutek czego w odpowiednich miejscach występują ciemne linie absorbcyjne, i że te linie objaśnia się w ten sposób, iż promienie brakujące pochłaniane są przez pierwiastki, które w stanie lotnym tworzą zewnętrzne warstwy słońca.

Tego samego rodzaju są widma gwiazd, ale nie identyczne, bo różnią się w ogólności od widma słonecznego i między sobą ilością, długością fali, a także i wyglądem tych linii absorbcyjnych.

Nazwijmy w ogólności warstwy pochłaniające atmosferą, warstwy zaś głębsze, wysyłające światło, jądrem, to analiza widmowa daje możliwość badania składu chemicznego atmosfer gwiazd, a poczęści i warunków fizycznych, w których te atmosfery się znajdują.

Ponieważ słońca, jak widzieliśmy, w całości składają się z ciał lotnych, więc atmosfery słońca nie należy sobie wyobrażać, jako jakąś warstwę, wybitnie różniącą się od jądra. Przejście od warstw gęstszych i gorętszych do rzadszych i chłodniejszych odbywa się stopniowo, gdzie więc kończy się jądro, a zaczyna atmosfera, tego powiedzieć nie można. W każdym razie położenie owej granicy zmieniać się musi z postępem ewolucji słońca, bo przede wszystkim rozmiary słońca ulegają zmianie, a dalej, jak to wypływa właśnie z badań widmowych, zmienia się stosunek atmosfery do jądra.

Gdybyśmy chcieli zbadać zmiany, jakie z biegiem czasu zachodzą na słońcu, musielibyśmy oczywiście obserwować je we wszystkich okresach ewolucji, a więc

przez miliony lat. Natomiast gdy założymy, że wszystkie słońca przebywają podobny proces ewolucyjny, to wnioskować musimy, że gdy widma dwóch gwiazd różnią się między sobą, to gwiazdy te znajdują się w różnych fazach procesu ewolucyjnego.

Badając widma gwiazd, widzimy, iż pomimo wielu różnic w szczegółach, dadzą się one sprowadzić do kilku zasadniczych typów. Od jednego typu do drugiego prowadzi cała skala widm pośrednich, i cały proces ewolucyjny słońc znajduje swój wyraz w szeregu widm, których różnice wykazują ciągłość i określony kierunek zmian,

W pewnym momencie ewolucji ten izolowany od innych przedmiot kosmiczny, który w obszerniejszym znaczeniu nazwaliśmy słońcem, wysyłać poczyną światło, którego widmo jest ciągłe. Znaczy to, że ciała lotne, tworzące jądro, stały się na tyle gęstymi, iż nie dają już widma linowego, charakterystycznego dla rozrzedzonych ciał lotnych.

Bardzo rozległa atmosfera otacza to jądro, oczywiście znacznie chłodniejsza od jądra przede wszystkim z powodu bezpośredniego stykania się z zimną przestrzenią, a dalej z powodu zmniejszającego się ciśnienia w miarę oddalania się od jądra. Ale i z gorętszego znacznie jądra uchodzi ciepło w przestwór, ogrzewając po drodze do pewnego stopnia warstwę atmosfery, przez które przechodzi.

Skład tej atmosfery jest bardzo prosty, utworzona jest bowiem z samego tylko wodoru. Inne pierwiastki nie ujawniają jeszcze swego pochłaniającego wpływu w stosunku do promieni jądra, a zatem jeżeli na tej gwieździe się znajdują, to wchodzą one w skład jądra. Jądro to posiada olbrzymie rozmiary, ale bardzo też rozległą jest atmosfera, o czem świadczy silna absorpcja wodorowa.

Wodór, jak wiadomo, jest najlżejszym ze znanych pierwiastków, i tej jego lekkości niewątpliwie przypisać należy. występowanie jego w najbardziej zewnętrznych warstwach słońc nie tylko w ich najwcześniejszych okresach ewolucyjnych, ale w ciągu całego ich trwania.

Takie zachowanie się wodoru, a prócz tego kolejność z jaką w widmie ujawniają swe działanie pochłaniające coraz nowe pierwiastki, prowadzą do wniosku, że pierwiastki znajdują się w tem głębszych warstwach słońc, im większy jest ich ciężar atomowy.

Wniosek ten w istocie udało się bezpośrednio sprawdzić dla naszego słońca, które jest jedyną gwiazdą, dla badań tego rodzaju dostępną. I tutaj trudności są wielkie, gdyż badania tego rodzaju robione być mogą tylko w ciągu kilku sekund przed i po całkowitem zaćmieniu słońca, gdy z całej tarczy słonecznej odkryta jest tylko tak zwana warstwa odwracająca. Badania te stwierdziły w istocie warstwową budowę atmosfery słonecznej w tem znaczeniu, że w ogólności pierwiastki o większym ciężarze atomowym znajdują się głębiej. W warstwach słońca najbardziej zewnętrznych obok wodoru występuje hel, i oba te gazy w postaci protuberancyj wznoszą się niekiedy na olbrzymie wysokości ponad średni poziom słońca.

Gdy wyniki, otrzymane dla naszego słońca, przeniesiemy na inne, to zrozumiemy, jak należy się zapamiętywać na przybywanie coraz nowych linii w widmie w miarę posuwania się naprzód procesu ewolucyjnego. Jeżeli oprócz linii wodoru w widmie dostrzegamy jeszcze linje jakiegoś pierwiastka cięższego, to należy wnioskować, że jakaś głębsza warstwa, która przedtem wchodziła w skład jądra owego słońca, stała się teraz dolną warstwą atmosfery; coraz nowe linje w widmie świadczyłyby więc o coraz większem pogłębianiu się atmosfery na koszt coraz bardziej w głąb usuwającego się jądra.



Ale stwierdzić tu i zaznaczyć należy, że gęstość tej atmosfery, wobec wchodzenia w jej skład coraz cięższych pierwiastków, będzie coraz większa; zarazem wzrastać będzie gęstość jądra, które wydziela z siebie najlżejsze pierwiastki i oddaje atmosferze. Wynika stąd ogólny wzrost gęstości słońca, czyli jego średniej gęstości. Gdy zaś masę słońca uważamy za niezmienną, to wzrost gęstości może być tylko wynikiem skupiania się materji słońca na coraz mniejszej przestrzeni, czyli koncentracji.

Badania widmowe stwierdzają zatem, że jednym z objawów posuwającego się naprzód procesu ewolucyjnego u słońc jest coraz większa koncentracja ich materji. Objaw ten naturalnie znajduje się w ścisłym związku z ubytkiem energii wewnętrznej.

Ale badania widmowe stwierdzają też, że ilość energii promienistej, którą słońce jakieś wysyła w przestrzór, nie jest stałą, że począwszy od pewnej fazy ewolucji ilość wypromieniowywanej energii powoli, ale statecznie maleje. Jest to fakt nader ważny, aczkolwiek prawie sam przez się zrozumiały, którego jednakże na podstawie obserwacji naszego słońca, obejmujących zbyt krótki okres czasu, stwierdzić nie było można.

Mianowicie w miarę coraz większej koncentracji materji słońca z powodów wyżej przytoczonych oraz innych, których nie przytaczamy, w widmie jego nie tylko pojawiają się linje coraz nowych pierwiastków, ale wzrasta też liczba linii pierwiastków, które już wcześniej w skład atmosfery wchodziły; znaczy to, że z promieni, wychodzących z jądra, coraz większy ułamek zostaje zatrzymany przez atmosferę, a więc coraz mniejsza ich ilość wydostaje się nazewnątrz i uchodzi w przestrzór.

Uwagi powyższe odnoszą się przedewszystkiem do światła, ale w istocie dotyczą całej energii promienistej. Wzrost absorbcji jednakże nie jest jednakowo



szybki dla promieni wszystkich długości fali. Gdy liczba linii w widmie rośnie wogóle, przybywa ich daleko więcej w części niebieskiej i fioletkowej, niż w częściach mniej łamliwych; wskutek tego też absorbcja wzrasta w kierunku zmniejszających się długości fali. Fakt ten pośrednio stwierdza się jeszcze w sposób dwojaki. Przedewszystkiem całkowitemu pochłonięciu w atmosferze słońc ulegają promienie o najkrótszych falach, skutkiem czego widmo przy pewnej długości fali się urywa. W związku zaś z powyższymi uwagami można też powiedzieć, że z dwóch słońc, których widma badamy, to znajduje się w późniejszej fazie ewolucji, którego widmo kończy się na dłuższych falach.

Drugi wynik silniejszej absorbcji w części łamliwszej jest ten, że w świetle gwiazdy coraz bardziej przeważają promienie czerwone, żółte i zielone nad niebieskimi i fioletkowymi, wskutek czego barwa gwiazd przesuwana się stopniowo od białej, przez żółtą i pomarańczową, do czerwonej. I barwa gwiazd zatem, jak widzimy, stanowi kryterjum do oceny, które z dwóch słońc przebywa wcześniejszą, a które późniejszą fazę ewolucji.

Przy dalszem trwaniu procesu ewolucyjnego linie w widmie skupiają się w niektórych częściach tak gęsto, iż tworzą szerokie pasma, które na oddzielną linię tylko przy bardzo silnem rozszczepieniu, i to niezupełnie, rozłożyć można, a obok tego występują smugi nierozdzielne, charakterystyczne dla związków chemicznych.

Cały szereg szczegółów, które zauważyć można w widmach, wskazuje na to, że w miarę jak liczba linii w widmie gwiazdy wzrasta, w ogólności też obniża się temperatura atmosfery. Występowanie w widmach bardzo obfitych w linie także pasem związków chemicznych świadczy z całą stanowczością o stosunkowo niskiej temperaturze atmosfery tych słońc.

Następna faza ewolucji słońca, w której coraz nowe związki chemiczne pojawiają się w atmosferze, a zarazem coraz nowe pasma absorbcyjne pojawiają się w widmie i coraz mniejsza ilość promieni przedziera się przez jego chłodną i gęstą atmosferę nazewnątrż, skończyć się musi w ten sposób, że światło jądra w całości przez atmosferę zostanie pochłonięte. Wtedy słońce przestaje świecić, staje się ciemną bryłą, chociaż może ono jeszcze wysyłać przez długie okresy czasu energję w postaci promieni ciemnych o długich falach, aż w końcu i dla tych promieni atmosfera stanie się nieprzezroczystą.

Nie wnikamy w szczegóły procesu ewolucyjnego słońc, ponieważ tematem niniejszej książki nie jest kosmogonja, lecz energja słońca. Z badań widmowych wypływają trzy dla naszego zagadnienia nader doniosłe wnioski. Mianowicie wynika z nich, że proces ewolucyjny słońc objawia się nazewnątrż w coraz większej koncentracji materji słońca, że temperatura warstw zewnętrznych stopniowo się obniża i że ilość energii, wypromieniowywanej nazewnątrż, stale maleje.

Otóż wnioski te znajdują się w zupełnej zgodzie z założeniami, które na długo przed odkryciem metody analizy widmowej przyjął Helmholtz, gdy, opierając się, podobnie jak Mayer, na zasadach termodynamiki, wygłosił swoją słynną hipotezę, mającą wyjaśnić zagadkę energii słońca.

Hipotezę swoją ogłosił Helmholtz w r. 1854, w sześć lat po ogłoszeniu hipotezy Mayera. Odrzuca on zewnętrzne źródła energii, jako dla wyjaśnienia zagadnienia niepotrzebne, za jedyne źródło energii promienistej słońca przyjmuje energję potencjalną każdej cząsteczki masy słońca, w którą jest wyposażona dlatego, że z powodu ciężenia powszechnego musi dążyć do środka słońca.

Gdy więc wyobrazimy sobie, że materja słońca była rozproszona w przestrzeni dowolnie rozległej, to każda jej cząsteczka uzbrojona była w energję potencjalną, której ilościowo odpowiadałaby energja kinetyczna tej cząsteczki, gdyby pod działaniem całej masy słońca, skoncentrowanej w jej środku ciężkości, spadła na ten środek z odległości, w której znajdowała się początkowo.

Jest rzeczą oczywistą, że energja potencjalna tych ciężących ku środkowi cząsteczek materjalnych musiałaby być tem większa, im większą byłaby droga ich spadania, a więc odległość ich od środka ciężkości. Innemi słowy energja potencjalna całego ogółu tych cząsteczek byłaby tem większą, im większą by one zajmowały przestrzeń. Wypływa stąd wniosek, że energja potencjalna całej materji słońca byłaby największa, gdyby materja ta rozproszona była w przestrzeni nieskończenie wielkiej.

Tę maksymalną ilość energii potencjalnej łatwo obliczyć. Pod działaniem masy słońca ciało, przyciągnięte z odległości nieskończenie wielkiej, w odległości  $69.10^9$  cm. od środka osiąga, jak to widzieliśmy, prędkość 614 km na sek.; więc, według teorii potencjału, energja potencjalna pierwotnego słońca, gdyby materja jego rozproszona była w przestrzeni nieskończenie wielkiej, wynosiłaby tyle, co  $\frac{3}{5}$  energii kinetycznej całej masy słońca, mknącego z prękością 614 km na sekundę.

Widzieliśmy, że energja kinetyczna 1 grama, posiadającego powyższą prędkość, zamieniona na ciepło, wynosi  $45.10^6$  kalorii gramowych. Że zaś masa słońca wynosi  $2.10^{33}$  gramów, więc, przy wspomnianej prędkości, energja potencjalna rozproszonej w nieograniczonej przestrzeni materji słońca, wyrażona w jednostkach ciepła, wynosiłaby  $54.10^{39}$  kal. gr.

Jeżeli więc jedyną energją, którą słońce kiedykolwiek rozporządzało, była energja potencjalna tworzących je ciał, to nie miało ono nigdy większego zapasu energii, jak wyżej podana liczba maksymalna. Skoro jednakże za początek słońca przyjęliśmy chwilę, kiedy materia jego była izolowana, a więc zawarta w przestrzeni skończonej, więc początkowy zapas jego energii był mniejszy.

Nie wiemy, jakie były rozmiary tej mgławicy pierwotnej, gdy jednakże staniemy w zasadniczych założeniach na gruncie hipotezy kosmogonicznej Laplace'a, to przyjąć musimy, że w każdym razie sięgała ona poza drogę najdalszej ze znanych planet naszego układu, Neptuna.

Otóż rachunek wykazuje, że prędkość, którą pod działaniem masy słońca osiągnęłoby ciało, przyciągnięte z odległości Neptuna i spadające na dzisiejszą powierzchnię słońca, wynosiłaby 608 km na sek., a energja potencjalna masy, rozproszonej w objętości kuli o promieniu, równym odległości Neptuna od słońca, tylko o  $8 \cdot 10^{36}$  kal. gr. byłaby mniejsza od energii potencjalnej tejże masy w założeniu przestrzeni nieograniczonej.

Jest to ilość ciepła, którą by słońce utraciło w ciągu 2300 lat, gdyby promieniowało z tem natężeniem, co obecnie. Okres, tak krótki w stosunku do czasu istnienia słońca w obliczeniu czasu, na jaki starczyłaby energja potencjalna jego cząsteczki, możemy pominąć i przyjąć jako ilość tej energii wyżej podaną liczbę maksymalną  $54 \cdot 10^{39}$  kal. gr.

Z punktu widzenia termodynamiki jest rzeczą obojętną, jaką drogą i z jaką prędkością zbliży się do środka ciężkości przyciągana cząsteczka. W próżni biegła by ona po linii prostej w kierunku środka ciężkości z prędkością stale wzrastającą, w ośrodku zaś, wypełnionym materją, cząsteczka musiałaby w swej drodze przezwyciężać opór innych cząsteczek, wskutek



czego prędkość ruchu byłaby znacznie mniejsza, energia zaś jej kinetyczna zostałaaby zamieniona na ciepło.

Takim był pogląd, ogłoszony poraz pierwszy przez Helmholtza. W mgławicy słonecznej od początku jej istnienia istnieć musiał ruch cząsteczek, skierowany ku środkowi ciężkości, a gdy przyjmiemy kształt kulisty tej mgławicy, to ruch ten odbywał się w kierunku promieni geometrycznych. Skutkiem tego ruchu było zmniejszanie się przestrzeni, zajętej przez materję słońca, t. j. coraz większa koncentracja kuli słonecznej.

Naturalnie ponieważ dążące ku środkowi cząsteczki w swej drodze napotykały na inne cząsteczki, które hamowały prędkość ich ruchu, więc energia kinetyczna zamieniała się w inne postaci energii, przedewszystkiem zaś w ciepło. W ten sposób dzięki koncentracji czyli kurczeniu się słońca, zjawisku, które jest konieczną konsekwencją prawa ciężenia powszechnego, wytwarzać się też musiało wewnątrz słońca, jako ekwiwalent energii potencjalnej, ciepło koncentracji.

To ciepło koncentracji, albo ogólniej ta energia koncentracji, jest to, według Helmholtza, właśnie ta energia, którą słońce wysyła w przestwór. Własność promieni słonecznych uczy nas, jakimi różnemi działaniami objawiać się może energia, uzyskana z przemiany energii potencjalnej cząsteczek materji słonecznej w procesie koncentracyjnym, ogólna zaś ich energia oczywiście nie może być większa od ogólnej ilości tej energii potencjalnej.

Ponieważ energia, wypromieniowywana rocznie przez słońce, reprezentuje  $35 \cdot 10^{32}$  kal. gr., a energia koncentracji słońca do dzisiejszych rozmiarów wynosi co najwyżej  $54 \cdot 10^{39}$  kal. gr., którą to ilość przyjmujemy za rzeczywistą ilość dotychczas przekształconej energii potencjalnej, więc gdyby ona w istocie już przez słońce wypromieniowaną została, to widzimy, że ilość utrac-

nej już energii byłaby 15400000 razy większa, aniżeli teraźniejszy wydatek roczny.

Wynik powyższy innemi słowy wyrazić możemy w ten sposób, że jeżeli słońce zawsze tak silnie promieniowało, jak obecnie, to nie może ono być starsze, jak liczbą okrągłą 15 milionów lat; jest ono wszakże choćby z tego powodu prawdopodobnie młodszem, że znaczna ilość tej energii koncentracji nagromadzona jest jeszcze we wnętrzu słońca. Ilości tej w sposób ścisły obliczyć nie możemy, jednakże, być może, iż przynajmniej co do rzędu z ilością prawdziwą zgadza się otrzymana w rozdziale IV liczba szacunkowa  $10^{40}$  kal. gr. Zamagazy-nowana niejako energia koncentracji stanowiłaby zatem około 19% wszystkiej energii koncentracji, a tylko około 81% tej energii dotąd słońce utraciło. Czas na to potrzebny przy takim ubytku, jak obecnie, wynosiłby więc 12500000 lat.

Oczywiście koncentracja słońca odbywa się w dalszym ciągu i obecnie i odbywać się będzie w przyszłości, wskutek czego tarcza słońca stale zmniejszać się musi, i naturalnie można obliczyć tempo tej koncentracji, która miałaby kompensować stratę energii na zewnątrz.

W powyższem przedstawieniu zasadniczych myśli hipotezy Helmholtza nie trzymaliśmy się ściśle jego wywodów ani liczb, ponieważ przy dzisiejszym stanie nauki wywodom dać można formę prostszą, a liczbom większą dokładność. Hipoteza ta w czasach późniejszych stała się podstawą wielu badań teoretycznych, które wnioski z niej wypływające pogłębiły i rozszerzyły.

Helmholtz nie zastanawiał się bliżej nad czynnikami drugorzędnymi, które obok grawitacji przy procesie koncentracji współdziałać muszą. W założeniu, że ciepło, które słońce ma z siebie wydać, musi być uzyskane przez odpowiednio wielką koncentrację, zna-

laż Helmholtz, że wskutek tego kurczenia się promień słońca rocznie zmniejszać by się musiał o 45 m a wielkość kątowa o  $0''.1$  na 1600 lat; oczywiście zmiany, tej w okresie historycznym stwierdzić nie można, a więc niezmiennosc pozorna słońca z hipotezą kurczenia się w sprzeczności nie jest.

Thomson, ujmując zagadnienie nieco inaczej, znajduje, że skrócenie się promienia o 35 m (jako wartość stałej słonecznej przyjmuje on 1.8) wystarcza do pokrycia rocznej straty energii słońca. Stąd zaś wynika, że w ciągu miliona lat promień słońca zmienia się o 20-tą część swej wartości. Dalszy wniosek, który stąd się wyprowadza, jest, że przed 15 milionami lat średnica pozorna słońca była cztery razy większa, niż obecnie, a za 20 milionów lat będzie zredukowaną do połowy dzisiejszej wartości. Biorąc pod uwagę jeszcze różne inne momenty, Thomson co do wieku i dalszego trwania słońca dochodzi do wniosku, że byłoby wielką lekkomyślnością przyjąć, jako rzecz prawdopodobną, że słońce świeciło przez więcej, niż 20 milionów lat w przeszłości i liczyć na więcej niż 5 do 6 milionów lat świecenia w przyszłości.

Naturalnie liczby tu podane ulegną zmianie, gdy przyjmiemy, że natężenie promieniowania słonecznego nie zawsze było i nie zawsze będzie takie, jak dzisiaj.

Badania widmowe, jak to już zaznaczyliśmy, potwierdzają hipotezy Laplace'a i Helmholtza o stopniowej koncentracji. Przypominamy w nawiasie, że pierwszemu ta hipoteza była potrzebna do wyjaśnienia powstania układu planetarnego, drugiemu zaś, jak wiemy, do wyjaśnienia pochodzenia energii promienistej słońca.

Obaj wspomniani uczeni inaczej zapatrują się na przyczyny tej kontrakcji słońca. Dla Laplace'a problem energii słońca jak gdyby nie istniał, a mgławica pierwotna, z której powstały planety i dzisiejsze

słońce, zawierała całą tę ilość ciepła, którą w ciągu milionów lat traciła. Dzięki swej bardzo wysokiej temperaturze zajmowała ona pierwotnie tak wielką przestrzeń, a kurczenie się jej było skutkiem stygnięcia. Helmholtz przeciwnie objaśnia powstanie ciepła w pierwotnie zimnej mgławicy koncentracją grawitacyjną.

Badania widmowe, stwierdzając proces koncentracyjny, zarazem pouczają nas, że jest on bardziej skomplikowany, aniżeli by to z prostych założeń Laplace'a i Helmholtza wypływało, ponieważ jako bardzo ważny czynnik w procesie ewolucyjnym i koncentracyjnym występuje też różniczkowanie się materji pod względem chemicznym.

W tych fazach ewolucji słońc, które badamy za pomocą odpowiednio do pewnych koncepcyj uszeregowanych widm gwiazdowych, jak się zdaje, proces koncentracyjny idzie w parze ze stopniowym zmniejszaniem się wydzielania energii nazewnątrz z powodu coraz silniejszej absorbcji selektywnej w atmosferze słońca. Gdy produkcja ciepła koncentracji w tym czasie nie jest zmniejszona, to nadwyżka ciepła gromadzi się wewnątrz słońca, powodując wzrost jego średniej temperatury.

Ale być też może, że tempo koncentracji i produkcja ciepła w tych fazach ewolucji reguluje się według tej zmniejszającej się ilości wydzielanej nazewnątrz energii. Jeżeli tak jest w istocie, to przecież przyjąć musimy, że w okresach wcześniejszych ewolucji, ażeby słońce mogło stać się gorącym i świecącym, musiało w niem się ciepło koncentracyjne gromadzić, a więc produkcja ciepła musiała być większa, niż ubytek przez promieniowanie.

Ten okres ewolucji słońc, być może, znajduje swój wyraz nie w widmach gwiazd, lecz w widmach mgławic gazowych, gdyż, według dzisiejszych pojęć kosmogo-



nicznych, taki stan mgławicowy musi poprzedzać znacznie bardziej skoncentrowany stan słoneczny w ściślejszem znaczeniu tego wyrazu.

Ritter na drodze teoretycznej starał się ująć związek, zachodzący pomiędzy ilością wydzielanej energii promienistej, a wewnętrzną produkcją ciepła koncentracyjnego. Wynika z tych badań, że w historii każdego słońca dadzą się wyróżnić trzy okresy, w których warunki są zasadniczo różne.

Pierwszym jest okres, w którym ciepło koncentracji tylko częściowo uchodzi nazewnątrz, wskutek czego nadmiar gromadzi się wewnątrz i podnosi średnią temperaturę słońca; natężenie promieniowania wprawdzie wzrasta, ale średnia temperatura wzrasta prędzej.

Przy pewnych założeniach idealnych można wykazać, że średnia temperatura znajduje się w prostym związku z rozmiarami kurczącego się słońca, mianowicie, że wzrasta ona w tym samym stosunku, w jakim promień się zmniejsza. Co się zaś tyczy ilości wysyłanych promieni, to jest ona proporcjonalna do wielkości promieniującej powierzchni, a więc do kwadratu promienia. Wynika stąd, że promieniowanie wzrasta szybciej, niż średnia temperatura, a ponieważ według Rittera promieniowanie i średnia temperatura w pewnych momentach osiągają swoją wartość największą, więc promieniowanie osiąga maximum prędzej, aniżeli średnia temperatura.

Drugim więc wybitnie zaznaczonym okresem w historii słońca jest ten, w którym promieniowanie jego już słabnie, ale średnia temperatura jeszcze rośnie i w pewnym momencie wreszcie osiąga maximum.

Wtedy rozpoczyna się trzeci okres, w którym ciepło koncentracji nie wystarcza już na pokrycie straty, spowodowanej promieniowaniem, pomimo, iż ten wydatek jest coraz mniejszy; a więc na pokrycie niedoboru idzie ciepło zapasowe, wskutek czego średnia tempera-

tura się obniża. Ten okres trwa aż do zgaśnięcia i zupełnego wyczerpania się słońca.

Czy wnioski te odpowiadają rzeczywistości, tego sprawdzić nie możemy, jednakże niema w nich nic nieprawdopodobnego. Gdybyśmy jednakże próbowali podać jakieś bliższe szczegóły, dotyczące chronologii tych trzech okresów, to próby te nie budziłyby żadnego zaufania, jeżeliby opierały się tylko na założeniu kurczenia się grawitacyjnego. Dlatego też nie przytaczamy wyników, do których pod tym względem doszedł Ritter.

Sprawy te zresztą dla zasadniczej kwestji — pochodzenia energii promienistej słońca — mają znaczenie drugorzędne. Rzeczą istotną jest, czy wskazane przez Helmholtza źródło tej energii rozwiązuje całkowicie problemat, czy też pozostają jeszcze jakie wątpliwości. Tu mianowicie należałoby odpowiedzieć na pytanie, czy  $54 \cdot 10^{39}$  kalorii gramowych, — która to liczba określa górną granicę ilości energii potencjalnej cząsteczek słońca przekształconej dotąd na inne formy energii, — możemy uważać za ilość dostateczną do wytłumaczenia wszystkich zjawisk, mających związek z energją słońca.

Na pewno prawie powiedzieć można, że ilość ta jest za mała. Taki wniosek oczywiście zupełnie nie odbiera znaczenia źródłu energii, wskazanemu przez Helmholtza, ale zmusza nas do uważania go tylko za jedno ze źródeł, może nawet nie bardzo obfite, a zarazem do szukania innych.

## R o d z i a ł V I I .

Oddzielanie się planet od mgławicy słonecznej. — Wiek ziemi i słońca. — Energja grawitacyjna jest tylko częścią energii słońca. — Energja powinowactwa chemicznego. — Energja tworzenia się atomów.

Gdy dążenie ku środkowi ciężkości cząsteczek, tworzących materję słońca, pociągało za sobą coraz większe kurczenie się mgławicy słonecznej a zarazem zamianę energii potencjalnej tych cząsteczek na energję promienistą, w związku z tym procesem wystąpiło nader ciekawe zjawisko dodatkowe, polegające na tem, że w pewnych momentach w łonie tej mgławicy wyodrębniały się części takie, które w tym ogólnym procesie koncentracyjnym udział brać przestawały. Części te, zachowawszy wskutek bezwładności prędkość ruchu tę, jaką posiadały, gdy brały udział w ruchu wirowym mgławicy słonecznej, zaczęły jako samodzielne, od reszty kurczącej się w dalszym ciągu materji słońca wyodrębnione ciała niebieskie, zakresłać dokoła słońca drogi zamknięte.

Jakie były powody, że wspomniane części się tak wyodrębniały, tego dotąd dokładnie nie wiemy, aczkolwiek różne w tym względzie istnieją przypuszczenia, a na ich czele znane powszechnie hipotezy Kanta i Laplace'a. To jednakże uważamy za rzecz niewątpliwą, że planety utworzone są z materji, która nie-

gdyś była częścią składową pierwotnej mgławicy, a więc z takiej samej, z jakiej utworzone jest słońce.

Wobec tego, że i w epokach tworzenia się planety materia słońca mogła już być do pewnego stopnia zróżniczkowaną choćby z powodu różnic temperatury i gęstości, które już wtedy występowały w różnych częściach mgławicy, więc pomimo wspólnego pochodzenia przecież planety różnić się mogą między sobą, a także od słońca, pod względem swej budowy chemicznej. Należy jednakże spodziewać się raczej różnic ilościowych, niż jakościowych w tem znaczeniu, że stosunek ilościowy występujących na słońcu i na planetach pierwiastków na każdym z tych ciał może być inny.

Jest to kwestja, do której później jeszcze powrócimy. W tej chwili chodzi nam o zdobycie pewnych podstaw do zorientowania się, ile czasu było potrzeba, aby wytworzył się ten układ planetarny w postaci dzisiaj nam znanej.

Stojąc na stanowisku hipotezy kosmogonicznej Laplace'a, przyjmujemy, że w chwili, gdy od mgławicy oddzielała się materia, z której wytworzyć się miała jedna z istniejących planet, mgławica ta sięgała aż do dzisiejszej drogi tej planety, t. j. zajmowała objętość kuli, zakreślonej promieniem, równym średniej odległości tej planety od słońca.

Więc gdy naprzykład oderwał się od mgławicy słonecznej fragment, z którego utworzyła się ziemia, to materia mgławicy zajmowała przestrzeń, równą (p. str. 28)  $14 \cdot 10^{39} \text{ cm}^3$ , czyli 10 milionów razy większą, niż dzisiejsza objętość słońca. Przyjmując, że gęstość materji w tej wielkiej kuli wszędzie była jednakowa i że taką samą była też gęstość oddzielonego od niej fragmentu, znajdziemy, iż materiał, przeznaczony na ziemię, wobec masy ziemi 330000 razy mniejszej od masy słońca, zajmował też tyle razy mniejszą przestrzeń, aniżeli mgławica słoneczna. Otrzymujemy, jako obję-



tość tej mgławicy ziemskiej  $4 \cdot 10^{34}$  cm<sup>3</sup>; gdyby ta mgławica miała postać kuli, to promień tej kuli wynosiłby  $21 \cdot 10^{10}$  cm, a więc byłby 330 raz większy niż obecnie.

W rzeczywistości jednakże gęstość mgławicy słonecznej na jej krańcach była z pewnością znacznie mniejsza, niż w jej głębi, wobec koncentracji w kierunku środka, a więc też znacznie mniejsza, niż gęstość średnia. Rozmiary wyżej przytoczone mgławicy ziemskiej należy zatem uważać tylko za dolną granicę; ale i tak skromnie obliczona przestrzeń, zajęta przez mgławicę ziemską, była olbrzymia.

Nie wchodzimy w to bliżej, czy oderwana mgławica odrazu miała postać kulistą, czy też początkowo (według Laplace'a) wirowała dokoła mgławicy słonecznej w postaci spółśrodkowego z nią pierścienia, a potem dopiero uformowała się jako kula z części drobniejszych, na które się pierścień z biegiem czasu rozpadł. Nawiasem dodamy, że gdyby ta ostatnia alternatywa była zgodna z prawdą, to okres czasu, potrzebny do połączenia się tych części, byłby, jak wynika z badań Kirkwooda, znacznie dłuższy, aniżeli wiek słońca, wypływający z założeń Helmholtza, i zatem odrazu hipotezę jego, dotyczącą energii słońca, uznać byśmy musieli za niedostateczną.

Ponieważ sprawy te nie są wyjaśnione, więc za punkt wyjścia bierzemy epokę, gdy mgławica ziemska w istocie już otrzymała postać kuli o promieniu, jak widzieliśmy, conajmniej 330 razy większym, niż obecny promień kuli ziemskiej. W tym czasie mgławica ta sięgała conajmniej półszósta raza tak daleko, jak dzisiejsza odległość księżyca ziemskiego.

Cząsteczki mgławicy ziemskiej również dążyły ku jej środkowi, a skutek koncentracji był taki sam, jak w mgławicy słonecznej, tylko na małą skalę. Energia potencjalna, którą w czasie kurczenia się mgławicy ziemskiej do dzisiejszych rozmiarów, została zamieniona

na ciepło, wynosi według łatwego rachunku  $54 \cdot 10^{30}$  kal. gr. Większa część tej energii ulotniła się w przestwór, drobna reszta przechowała się we wnętrzu ziemi.

Równolegle z kurczeniem się mgławicy ziemskiej odbywał się proces kurczenia się mgławicy słonecznej. W tym czasie od pierwszej oderwał się księżyc, od drugiej zaś dwie planety, Wenus i Merkury. Nie mamy pewnych punktów oparcia co do tego, który z tych dwóch procesów odbywał się szybciej, ale prawdopodobnem się wydaje, że w najdawniejszych okresach historii ziemi, do których sięgają badania geologiczne, słońce dla warunków panujących podówczas na powierzchni ziemi, uzbrojonej już w twardą i coraz bardziej utrwalającą się skorupę, miało znaczenie pierwszorzędne i może nie bardzo różne od dzisiejszego.

Gdyby tak było, to należałoby chyba wnioskować, że słońce było wtedy już zredukowane do takich rozmiarów, iż Merkury jako samodzielna planeta krążył już dokoła niego. Przemawia za takim zapatrywaniem szczególnie fakt, że u Merkurego występują różne cechy, świadczące o daleko naprzód posuniętym procesie kosmogonicznym. Możemy zatem nie bezzasadnie przyjąć, że gdy ziemia przechodziła przez swój najdawniejszy okres geologiczny, układ planetarny dzisiejszy istniał już w komplecie.

Wywody powyższe mają na celu uzasadnić zapatrywanie, że najstarszy okres geologiczny ziemi jest w historii tworzenia układu planetarnego, a więc też w historii słońca, epoką już bardzo późną, a zatem też okres czasu, w którym utworzyły się badane przez geologję warstwy skorupy ziemskiej, jest ostatnim, stosunkowo krótkim okresem tej historii.

Ale jest to, jak wykazują badania geologiczne, okres bardzo długi. Historia ziemi od chwili, gdy pomieszane ze sobą w górnych jej warstwach gazy, wodór i tlen, połączyły się ze sobą i po raz pierwszy jako

woda opadły w głąb, gdzie tworzyć się już poczyniała trwalsza skorupa, aby jako para znowu wznieść się w górę i napełnić atmosferę, i dalsza jej historia od epoki, gdy skorupa na tyle już ostygła, że woda już na niej trwale utrzymać się mogła, pokrywając całą powierzchnię ziemi, jako bezbrzeżny praoccean, — była, jak to z badań geologicznych wypływa, bardzo ciekawa i urozmaicona.

Niestety niema pewnych punktów oparcia, któreby pozwoliły obliczyć dokładnie, ile wieków, czy milionów lat obejmuje ta historia, są tylko szacowania, oparte na różnych założeniach. Nie będziemy bliżej motywowali, dlaczego nie wydają się nam przesadnymi szacowania, które oceniają na milion lat okres czasu od chwili pojawienia się człowieka na ziemi; ale w takim razie, wobec nader powolnego tempa procesów geologicznych oraz potężnych przemian, które wytwarzały, historia ziemi od chwili utworzenia się wspomnianego wyżej praocceanu niewątpliwie ciągnie się już setki milionów lat, a więc układ planetarny tworzy się chyba nie mniej, jak od miljarda lat.

Później jeszcze podamy pewne argumenty, które popierają wniosek powyższy o wielkiej starości ziemi. Ale gdybyśmy nawet wbrew wszelkiemu prawdopodobieństwu przyjęli, że od chwili skurczenia się ziemi do dzisiejszych rozmiarów upłynęła ta minimalna liczba lat, którą na podstawie pewnych teoretycznych założeń otrzymują niektórzy geofizycy, mianowicie około 20 milionów lat, to i tak otrzymalibyśmy dla czasu, w ciągu którego rozwijał się układ planetarny i istnieje słońce, liczbę lat, przekraczającą wielokrotnie wiek prawdopodobny słońca, wyprowadzony przez Helmholtza, i powiększony z różnych powodów przez innych uczonych, stojących na stanowisku jego hipotezy.

Stąd wynika, co już zaznaczyliśmy na końcu poprzedniego rozdziału, że zapas energii, w który zaopa-

trzona była od początku swego istnienia mgławica słoneczna, musiał być o wiele większy, aniżeli gdyby w istocie stanowiła go tylko energia potencjalna grawitujących ku sobie jej cząsteczek.

Pomimo takiego wniosku pozostajemy na stanowisku hipotezy Helmholtza w tem znaczeniu, że kurczenie się mgławicy słonecznej i słońca uważamy za proces konieczny i faktycznie zachodzący, i za jeden z zasadniczych objawów procesu ewolucyjnego. Jednakże obok tego procesu dośrodkowego istnieje inny — odśrodkowy, rozszerzający. Ten ostatni jest wynikiem wzrostu temperatury z powodu szybszej produkcji ciepła wewnętrznego w porównaniu z ubytkiem energii nazewnątrz przez promieniowanie.

W pewnych momentach zachodzi równowaga obu czynników, i proces kurczenia się może się rozpocząć znowu dopiero wtedy, gdy temperatura się obniży wskutek wydzielienia ciepła nazewnątrz. Wynikiem tego stale występującego współdziałania jest, pewne tempo kurczenia się, uwarunkowane ilością wytwarzanego wewnątrz ciepła. Naturalnie źródło, z jakiego to ciepło pochodzi, jaka postać energii w to ciepło się przekształca, są to okoliczności dla samego zjawiska obojętne: gdy więc prócz energii potencjalnej grawitujących cząsteczek na ciepło zamienia się jeszcze inna energia, w którą te cząsteczki są uzbrojone, to i ono również przyczynia się do powiększenia temperatury średniej, a zatem też przeciwdziała procesowi koncentracji, dopóki nie zostanie wydzielone na zewnątrz.

Każda więc postać energii wewnętrznej w sposób podobny wpływa na trwanie procesu ewolucyjnego; a że trwanie słońca jest znacznie dłuższe, niż gdyby cały zapas wewnętrznej energii mgławicy słonecznej stanowiła energia potencjalna cząsteczek, ciążących ku sobie, więc rozwiązanie zagadnienia energii słońca wymaga poznania tych innych zapasów energii, które, jak wynika z wniosków co do wieku słońca, muszą być o wiele



większe, niż energia, uwolniona przez kurczenie się grawitacyjne.

Otóż niema wielkich trudności, gdy chodzi o wskazanie możliwych źródeł energii wewnętrznej słońca. Jednakże od razu znajdujemy się na gruncie bardzo niepewnym, gdy chodzi o jako tako dokładne ujęcie w liczby ilości energii, która z tych innych źródeł płynie. Natomiast możliwości są nieograniczone prawie, dzięki czemu też wiek słońca i układu słonecznego możemy przedłużyć tak, iż pomieszczą się w nim także wygodnie geologiczne okresy ziemi, choćby czas ich trwania był szacowany jaknajrozzutniej.

Przypuśćmy, że pierwiastki chemiczne nie mogą być rozłożone na ciała prostsze nietylko w warunkach ziemskich, ale i w ogóle we wszechświecie, że zatem atomy chemiczne stanowią granicę podzielności materji. W takim razie pierwotną mgławicę słoneczną możemy sobie wyobrazić, jako utworzoną z atomów wszystkich pierwiastków chemicznych, pomieszanych ze sobą.

Naturalnie atomy różnych pierwiastków, jako cząsteczki materjalne, ciążyły ku sobie, podobnie zresztą jak atomy tego samego pierwiastka. Ale w atomach chemicznych tkwi jeszcze inna energia, dzięki której atomy łączą się w związki chemiczne. To dążenie atomów do tworzenia związków nazywa się, jak wiemy, powinowactwem chemicznem. Przy łączeniu się atomów energia powinowactwa zamienia się na ciepło. Tak na przykład, gdy pali się węgiel, t. j. gdy łączy się z tlenem, wydziela się ciepło spalania.

Nie ulega więc wątpliwości, że energję grawitacyjną słońca należy pomnożyć o energję powinowactwa atomów chemicznych. Chodzi tylko o to, czy ilość tej energii jest tak znaczna, aby wpłynąć mogła w znaczniejszej mierze na trwanie procesu ewolucyjnego.

W rozdziale IV zastanawialiśmy się już nad tą kwestją i doszliśmy do wyników, które na znaczenie te-

go źródła w budzecie słońca każą się zapastrywać dosyć sceptycznie. Widzieliśmy tam przecież, że przy spaleniu się grama węgla w tlenie wydziela się 8800 kal. gr. ciepła, gdy energia grawitacyjna tegoż grama, uwolniona w czasie kurczenia się słońca do dzisiejszych rozmiarów, reprezentowana jest przez 45 milionów kal. gr. Tę ostatnią liczbę powinniśmy właściwie powiększyć prawie czterokrotnie, gdy zważymy, że dla spalenia grama węgla potrzeba  $2\frac{3}{4}$  grama tlenu. Znaczy to, że gdyby pierwotna mgławica składała się z samych atomów tlenu i węgla w stosunku takim aby zupełne spalenie na dwutlenek węgla było możliwe, to energia powinowactwa chemicznego byłaby blisko 17000 razy mniejsza od energii grawitacyjnej; a więc też gdyby ewolucja słońca, w myśl hipotezy Helmholtza, miała trwać 17 milionów lat, to dzięki energii powinowactwa chemicznego trwałaby o 1000 lat dłużej.

Jest to, jak widzimy, sukurs znikomy, a wyniki nie będą o wiele różne, gdy zamiast atomów węgla i tlenu brać będziemy jakiegokolwiek inne mieszaniny atomów, które w znanych nam warunkach tworząc związki, wydzielają znaczne ilości ciepła.

Wnioski powyższe są to wnioski realne, oparte na doświadczeniach ziemskich. Jednakże na słońcu istnieją warunki bardzo różne od tych, w których zachodzą zjawiska na ziemi, nawet w laboratorjach. Dlatego uogólnianie tych wniosków na warunki, panujące na słońcu, nie byłoby usprawiedliwione, natomiast nic nie stoi na przeszkodzie, aby zastanowić się nad różnymi zachodzącymi możliwościami, o ile znajdują one poparcie w znanych faktach.

Liczne doświadczenia mówią nam, że związki, które powstają przy temperaturze stosunkowo niskiej, wydzielając ciepło, rozpadają się przy temperaturze znacznie wyższej, pochłaniając ciepło. Ale temperatura, przy której związki się tworzą, jest dla różnych zwią-

ków rozmaita, a doświadczenie uczy, że przy tworzeniu się związku wydziela się ciepła tem więcej, im wyższa jest temperatura, przy której reakcja chemiczna zachodzi.

Wiemy, że średnią temperaturę słońca, a tembardziej temperaturę warstw wewnętrznych, należy mierzyć milionami stopni. Ponieważ znane nam procesy chemiczne, przy których wydziela się największa ilość ciepła, zachodzą w temperaturze około  $4000^{\circ}$ , więc gdyby zachodziły reakcje np. w temperaturze 4 milionów stopni i gdyby pomiędzy temperaturą reakcji a ilością wydzielonej energii zachodziła proporcjonalność, to przy tych reakcjach uwalniałaby się ilość ciepła 1000 razy większa, aniżeli przy najenergiczniejszych reakcjach ziemskich.

Naturalnie i tu ilość energii, wydzielonej w postaci ciepła, byłaby ograniczona, i możemy nawet podać w przybliżeniu tę ilość przy pewnych założeniach orientacyjnych. Więc przypuśćmy, że temperatura wewnątrz słońca dochodzi do 20 milionów stopni i że wszystkie pierwiastki, z których utworzona była mgławica słoneczna, w tej temperaturze łączą się w jednolite pod względem chemicznym ciało. Przy takim założeniu ilość wydzielonego ciepła reakcji byłaby największa, jaką sobie wyobrazić możemy, bo przy każdym tworzącym się związku chemicznym ilość uwolnionego ciepła byłaby w przybliżeniu 5000 razy większa, niż np. przy łączeniu się węgla z tlenem.

Ilość uzyskanego w taki sposób ciepła byłaby zatem już wcale pokaźna, mianowicie około  $24 \cdot 10^{39}$  kal. gr., i wystarczałaby na pokrycie wydatku słońca, gdyby wynosił tyle, co obecnie, przez 7 milionów lat. O tyle więc też dłuższym byłby żywot słońca, aniżeli obliczony przez Helmholtza, gdybyśmy zasób jego energii wewnętrznej powiększyli o energję powinowactwa chemicznego atomów w ilości maksymalnej, jaką pomysleć można.

Ten wysiłek wyobraźni jednakże, jak widzimy, niewielki nam przynosi pożytek, gdy chodzi o usunięcie głównej trudności, na którą natrafia hipoteza Helmholtza. Kilka milionów lat więcej lub mniej nie mają znaczenia, gdy braknie energii jeszcze na setki milionów lat.

Arrhenius był jednym z pierwszych, który, szukając źródeł energii wewnętrznej słońca, na nowo zwrócił się do energii powinowactwa chemicznego. Wsparty na doświadczeniach naukowych ostatnich czasów, sądził on, że można ilość tej energii przyjmować za tak wielką, jaką z innych względów wydaje to się koniecznem. Ale jak to często się zdarza w przypadkach podobnych, Arrhenius nie spostrzega, że argumenty jego znajdują się w sprzeczności z prawem zachowania energii. Wynik wyżej podany sprowadza fantastyczne wnioski Arrheniusa do właściwych rozmiarów.

Ale do wniosków tych doszliśmy, zakładając, że granicą podzielności materji są atomy chemiczne i że z takich samych ciał, jakie znajdują się na ziemi i słońcu, składała się na początku ewolucji mgławica słoneczna. Czy założenie takie jest usprawiedliwione faktami? Bynajmniej: mgławice gazowe, które uważać możemy za słońca w bardzo wczesnych stadjach ewolucji, składają się z materji, bardzo mało zróżniczkowanej pod względem chemicznym. Badania widmowe wykazują stałe występowanie w mgławicach tego rodzaju tylko nieznanego na ziemi, ani nie dającego się stwierdzić na słońcu lub na innych gwiazdach, pierwiastka, nazwanego nebulium, a prócz tego jeszcze zazwyczaj wodoru i dosyć często helu.

Coraz większe różniczkowanie się materji atmosfer słonecznych, postępujące równolegle z procesem ewolucyjnym, można, bez narażenia się na poważniejsze zarzuty, tłómaczyć tworzeniem się coraz nowych pierwiastków z materji w stanie pierwotniejszym. W takim



razie atomy pierwiastków musimy uważać za cząsteczki, złożone z cząsteczek drobniejszych, których powinowactwo jest o wiele silniejsze, niż powinowactwo atomów chemicznych, skoro ich na części składowe za pomocą metod i środków znanych rozłożyć nie jesteśmy w stanie.

Do wniosków podobnych całkiem niezależnie od zagadnienia energii słonecznej doszedł Lockyer na podstawie różnic, które występują w widmach znanych pierwiastków na słońcu i na ziemi. Te różnice stają się liczniejszymi i różnorodniejszymi, gdy uwzględnimy widma gwiazd i mgławic.

Nie będziemy tej kwestji poświęcali wiele miejsca, przytoczymy tylko jako przykład takich różnic fakt, że nigdy prawie w widmach gwiazd nie można zidentyfikować wszystkich linii, z których składa się widmo danego pierwiastka, badane w laboratorium. Z drugiej strony w widmie słońca lub gwiazd występują linje, na ziemi nieznane, ale stojące w ścisłym związku ze znanymi linjami. Takimi są naprzykład linje, które występują serjami, a długość fali każdej z nich jest określona funkcją miejsca, które w serji zajmuje. Znane są też pierwiastki, których widma składają się z linii, należących do kilku seryj; otóż zdarza się, że w pewnych warunkach występują linje jednej serji, w innych zaś linje drugiej. Stąd możnaby wnioskować o rozkładzie takiego pierwiastka na składniki prostsze.

Jeżeli taki wniosek jest słuszny, to przypuszczenie, że przy łączeniu się takich pierwotniejszych elementów materji w atomy chemiczne uwalniać się mogą olbrzymie ilości ciepła, nie jest pozbawione podstawy; tylko niestety nic nie jesteśmy w stanie powiedzieć o ilości tego ciepła i o tem, o jaki okres czasu jest ono w stanie przedłużyć proces ewolucyjny słońc.

Ale nawet jeżeli wyżej przytoczone fakta, przemawiające za tem, że atomy chemiczne nie są granicą

podzielności materji, w rzeczywistości objaśniają się inaczej, to znamy dzisiaj szereg zjawisk, które rozpadania się atomów chemicznych niewątpliwie dowodzą. Takimi są promienie katodowe oraz zjawisko promieniotwórczości. Zobaczymy w następnym rozdziale, w jaki sposób do rozwiązania problemu energii słońca przyczynić się może ostatnie ze wspomnianych zjawisk

---

## R o z d z i a ł VIII.

Ciepło ziemi i jego pochodzenie. — Promieniotwórczość. — Ciała promieniotwórcze na ziemi. — Ciała promieniotwórcze na słońcu. — Hypoteza promieniotwórczości powszechnej. — Wnioski, dotyczące energii słońca.

---

Ziemia pomimo zakrzepłej skorupy, która ją pokrywa, nie jest ciałem zupełnie zimnem. Wprawdzie o warunkach na niej panujących decyduje ilość energii słonecznej, która na powierzchnię danej wielkości przypada w ciągu roku, ale można też za pomocą stosownych badań stwierdzić dopływ ciepła z głębi ziemi ku powierzchni.

Ilość tego z wnętrza ziemi płynącego ciepła jest stosunkowo niewielka, wynosi bowiem zaledwie 52 kal. gr. rocznie na  $1\text{ cm}^2$  powierzchni ziemi, czyli około  $26 \cdot 10^{19}$  kal. gr. rocznie wogóle; od słońca więc ziemia otrzymuje z górą 6000 razy tyle ciepła. Ale to ciepło, płynące z głębi ziemi, świadczy, że ziemia nie jest bryłą całkowicie wystygłą, i że ona, równie jak słońce, energję swą wewnętrzną wysyła w przestwór.

Dane, jakie posiadamy, zdobyte rozmaitemi drogami, nie dają nam dostatecznych podstaw do wyświetlenia zagadki wnętrza ziemi, a w szczególności do wyznaczenia temperatury, jaka panuje w głębi ziemi w pobliżu środka. Nie możemy wskutek tego nawet w przybliżeniu ocenić, jakim wewnętrznym zapasem ciepła jeszcze ziemia rozporządza.

Ale sam fakt, że ziemia nie utraciła jeszcze wszystkiego ciepła, pomimo, że traci je od chwili, gdy pokryła się skorupą i ciepło grawitacyjne wytwarzać się już przestało, może się wydawać dziwnym.

Thomson na drodze teoretycznych rozważań doszedł do wniosku, że skoro ziemia nie utraciła wszystkiego wewnętrznego ciepła, to od utworzenia się jej skorupy nie mogło upłynąć więcej, niż 100 milionów lat. Jest to, jak widzimy, okres czasu zbyt krótki w porównaniu z okresami, obliczonymi przez geologów, podobnie jak za krótkim jest wiek układu słonecznego, wypływający z teorii Helmholtza.

Założenia, które poczynił Thomson przy swoich obliczeniach, nie są wprawdzie dostatecznie uzasadnione i wyniki jego nie budzą zaufania, ale pomimo to nasunęły one wątpliwość, czy wszystko ciepło wewnętrzne ziemi jest w istocie tylko resztą ciepła, wyprodukowanego w czasie kurczenia się mgławicy ziemskiej, jak to przyjmował Thomson, czy też to ciepło grawitacyjne dawno się już wyczerpało, a to, które obecnie jeszcze wewnątrz ziemi stwierdzamy, pochodzi z całkiem innego źródła.

Szczególnie gdy zostały odkryte ciała promieniotwórcze i zostało stwierdzone ich występowanie na ziemi w znacznej ilości, zupełnie uzasadnionem było pytanie, jak objawia się nazewnątrz energia nagromadzonych w ziemi ciał promieniotwórczych. Przyjmując pewną ich ilość, można bez trudności nie tylko objaśnić ciepło wewnętrzne ziemi, ale nawet zapewnić zapas tego ciepła na miliony lat w przyszłości. Jeżeli więc wnioski Thomsona, dotyczące wieku ziemi, są słuszne, to słuszną też prawdopodobnie jest hipoteza objaśniająca ciepło ziemi promieniotwórczością.

Zjawiska promieniotwórczości dostarczyły nauce niewątpliwego dowodu, że z rozmaitych względów wy-



rażane podejrzenie, iż atomy chemiczne nie są granicą podzielności materji, jest słuszne.

Zjawiska te stały się przedmiotem wszechstronnych i skrupulatnych badań od r. 1898, w którym Skłodowska-Curie odkryła pierwiastek rad, posiadający własność promieniotwórczości w bardzo wysokim stopniu. Według Rutherforda 1 gram radu wypromieniowuje w ciągu godziny 202 kal. gr. ciepła, a ogólna ilość energii, zawarta w gramie radu, wyraża się liczbą  $132 \cdot 10^7$  kal. gr. Perjod radu, t. j. czas w ciągu którego rad traci połowę zawartej w nim energii, wynosi około 1800 lat.

Analiza promieni, wysyłanych przez ciała promieniotwórcze, wykazała, że są one w ogólności mieszaniną promieniowań odmiennych własności, oznaczonych jako promienie  $\alpha$  (alfa),  $\beta$  (beta) i  $\gamma$  (gamma).

Nie mamy zamiaru zajmować się obszerniej zjawiskiem promieniotwórczości, zasadniczy wynik badań, który pragniemy zaznaczyć, jest ten, że promienie  $\alpha$  i  $\beta$  nie są podobne do promieni światła, lecz są utworzone z produktów rozkładu atomów ciał promieniotwórczych. Promienie  $\beta$  są utworzone z t. zw. elektronów, t. j. cząsteczek o masie około tysiąca razy mniejszej, niż masa atomu wodoru, naładowanych elektrycznością ujemną. Elektrony wyrzucane są z olbrzymią energją i prędkość ich w promieniach  $\beta$ , lub bardzo podobnych do nich promieniach katodowych, jest porównywalna z prędkością światła.

Promienie  $\alpha$  są utworzone z cząsteczek naładowanych dodatnio, ale znacznie większych, w przybliżeniu tego rzędu wielkości, co atomy chemiczne, a prędkość ich jest znacznie mniejsza i wynosi co najwyżej około 30000 km/sek. Są to, jak się później udało stwierdzić, naładowane dodatnio atomy helu; wynika stąd, że hel jest jednym z produktów rozkładu atomów ciał promieniotwórczych.

Wreszcie promienie  $\gamma$  posiadają wszystkie własności t. zw. promieni X, czyli promieni Roentgena, i z nimi są identyfikowane.

Największe znaczenie w zjawisku promieniotwórczości mają promienie  $\alpha$ , ponieważ energia ich jest największa i ponieważ one posiadają charakter specjalny, skąd inąd nieznany. Kwestja, czy są one identyczne z t. zw. promieniami kanalikowemi, nie jest jeszcze stanowczo rozstrzygnięta.

Wracając do sprawy ciepła ziemskiego, znajdujemy, że taką ilość ciepła, jaką ziemia traci w ciągu roku, wydziela 14.  $10^{13}$  gramów radu. To znaczy, że wystarczyłoby, aby na 44000 tonn masy ziemskiej przypadał 1 miligram radu, ażeby jego promieniowanie w całości stratę ciepła przez ziemię pokrywało.

Czy mamy podstawę do przypuszczenia, że w istocie taka ilość radu w ziemi istnieje? Skoro wynaleziono czułe metody, które pozwalają na stwierdzenie nawet bardzo słabych objawów promieniotwórczości, okazało się, że ciała promieniotwórcze na ziemi w bardzo małych ilościach znajdują się prawie wszędzie.

Stwierdzono przedewszystkiem, że deszcz i śnieg wykazują prawie zawsze dość silną promieniotwórczość; przyczyną jej są mikroskopijne cząsteczki pyłu atmosferycznego, zawarte w wodzie opadowej. Tym pyłkom przypisać też należy promieniotwórczość powietrza, występującą stale, acz ze zmiennem i naturalnie zawsze słabem natężeniem.

Pył atmosferyczny jest pochodzenia dwojakiego, ziemskiego i kosmicznego. Pył kosmiczny pochodzi z rozmaitych źródeł; jednym naprzykład są meteory, które ulatniają się w całości lub częściowo w atmosferze, a potem kondensują się i zastygają w postaci mikroskopijnych kropelek, drugim, na które zwróciliśmy uwagę już w drugim rozdziale tej książki, jest prawdopodobnie korona słoneczna, z której pod ciśnieniem światła przy-

bywać się zdają do nas naładowane elektrycznością cząsteczki. W meteorach, spadających na ziemię, analiza chemiczna wykazała obecność helu, który, jak widzieliśmy, jest jednym z produktów rozkładu atomów radu. Co się zaś tyczy cząsteczek korony słonecznej, to nie jest rzeczą wykluczoną, że są one promieniami  $\alpha$ , wydzielanymi przez ciała promieniotwórcze na słońcu.

Wynika stąd, że możnaby się zgodzić na kosmiczne pochodzenie promieniotwórczości na ziemi, gdyby to było potrzebnem; ale, co ważniejsze dla nas w tej chwili, uwagi powyższe przemawiają też za tem, że ciała promieniotwórcze znajdują się nie tylko na ziemi, ale także na kometach (gdyż meteory uważamy za części rozpadających się komet), oraz na słońcu. Dalej idący wniosek byłby, że ciała te znajdują się na wszystkich ciałach niebieskich i że energia, wydzielana przez nie, ma wielkie uniwersalne znaczenie.

Ale, jak zaznaczyliśmy, druga, niewątpliwie znacznie większa część pyłu atmosferycznego, jest pochodzenia ziemskiego, i łatwo udowodnić, że temu ziemskiemu pyłowi promieniotwórczość powietrza przede wszystkim przypisać trzeba. Wynika to przede wszystkim stąd, że powietrze jest szczególnie silnie radioaktywne w miejscach zakrytych w bliskości powierzchni ziemi, albo pod nią, na przykład w piwnicach, jaskiniach lub grotach, następnie zaś, że objawy promieniotwórczości stwierdzić można u wód wielu źródeł mineralnych i w osadach tych źródeł. A więc głównem siedliskiem ciał promieniotwórczych jest skorupa ziemska co zresztą stwierdzają też bezpośrednie badania.

W tym względzie ciekawe są bardzo wyniki, otrzymane przez Strutta i później przez Joly'ego. Z tych badań okazuje się, że prawie wszystkie minerały zawierają rad, wyjątek stanowią tylko niektóre czyste kryształy. Zawartość radu w różnych badanych skałach była rozmaita, ale zawsze większa, aniżeli podana



wyżej ilość średnia dla całej ziemi, wystarczająca do pokrycia straty wewnętrznego ciepła. Najmniejszą ilość radu zawierał według Strutta, bazalt z Ovifak na wyspie Disco, mianowicie 1 milligram na 1500 tonn, i prawie tyleż badana przez Joly'ego skała koralowa z Funafuti. Największe ilości radu stwierdzone zostały w granicie z Rhodezyi, w ile radjolarjowym i w glinie czerwonej, mianowicie odpowiednio po 1 milligramie na 103, 71 i 78 tonn.

Łatwo obliczyć, że gdyby skorupa ziemską składała się z samych minerałów tak słabo radjoaktywnych, jak bazalt z Ovifak, to warstwa ich grubości 70 km. wystarczałaby, aby ubytek ciepła ziemskiego pokryć w zupełności; w tej warstwie 1 milligram radu przypadałby na 260 m<sup>3</sup>. Gdyby zawartość radu w skorupie ziemskiej była większa, to kosztem promieniotwórczości ziemia zamiast stygnąć musiałaby się nawet rozgrzewać, co jest sprzeczne z faktem, że przecież ostygła. Wiec powyższą ilość radu uważać należy za maksymalną, jaką dla ziemi przyjąć można. Obecności takiej ilości radu na ziemi, a nawet większej, badania wyżej przytoczone nie przeczą.

Ale wiemy, że perjod radu wynosi tylko 1800 lat, a w ciągu paru tysięcy lat promieniotwórczość jego zanika prawdopodobnie w zupełności. Czemuż więc wydzielą on promienie i obecnie, skoro wiek ziemi wynosi miliony lat? Jedyne wytłómaczenie tego faktu polega na tem, że rad promieniotwórczy wciąż się wytwarza z innych pierwiastków, a sam, gdy wydzieli z siebie promieniowanie, również zmienia swą budowę chemiczną.

Wnioski powyższe znajdują się w zupełnej zgodzie ze spostrzeżeniami. Z faktu, że rad znajduje się zawsze tylko w rudach, zawierających uran, i to zawsze w ilości, będącej w stałym stosunku do ilości uranu, można było wywnioskować, że prawdopodobnie rad wytwarza się z uranu. Badania nader wszechstron-



ne, w szczególności Boltwooda, wykazały, że w istocie uran jest ciałem macierzystem radu; to znaczy, że atomy uranu po wydzieleniu cząsteczek  $\alpha$  i  $\beta$ , zamieniają się w atomy radu.

Promieniotwórczość uranu jest bardzo słaba, ale perjod jego jest bardzo długi i według szacowania Boltwooda wynosi  $36.10^8$  lat; a więc może on promieniować i wytwarzać rad przez miljarady lat. Perjod tego samago rzędu długości posiada inny promieniotwórczy pierwiastek tor.

Sam rad, jak wykazują badania, przechodzi przez szereg form przejściowych, a końcowym produktem rozkładu zdaje się być ołów.

Występowanie helu zawsze w minerałach i rudach zawierających uran ze stałą procentową domieszką radu, albo tor, przemawiać się zdaje za tem, że hel ten utworzył się z emanacji tych ciał promieniotwórczych, i Rutherford jest zdania, że hel wolny na ziemi w ogóle z tej emanacji powstaje. Na tej podstawie można oznaczać wiek minerałów, zawierających ciała promieniotwórcze i hel. Należy w tym celu wymierzyć tylko ilość helu, zawartą w określonej ilości danego minerału, oraz tę ilość helu, którą ta sama ilość tego minerału obecnie w określonym czasie produkuje; stosunek tych ilości jest równy stosunkowi okresów czasu, w których hel brany pod uwagę się wytwarzał. W ten sposób znaleziono naprzykład, że minerał fergusonit utworzył się przed 400 milionami lat i że, ceteris paribus, starszemi są te minerały, w których zawartość helu jest większa.

Badania nad ciałami promieniotwórczemi, jak wynika z powyższych ustępów, wykazały, że gdy chodzi o stosunki ziemskie, to stanowią one źródło energii, z którym w wielu kwestjach, związanych z geofizyką, liczyć się należy. Sprawa własnego ciepła ziemi z punktu widzenia tych badań nie może budzić za-

dnych wątpliwości, choćby wiek ziemi ponad miliard lat szacować należało; z drugiej zaś strony badania te w istocie na nowej drodze potwierdzają dawniejsze wyniki o wieku ziemi, wynoszącym setki milionów lat.

Gdy więc o wiele dłuższe jeszcze być muszą okresy czasu, w których promieniuje słońce to dla wytłomaczenia tego faktu nie pozostaje nam nic innego, jak przyjąć, że w promieniach słońca rozprasza się energia atomów ciał promieniotwórczych, uwalniając się przy ich rozkładzie. Naturalnie byłoby bardzo przyjemnie, gdyby można było znaleźć więcej argumentów, popierających takie zapatrywanie.

Więc przedewszystkiem, licząc po 202 kal. gr. od 1 grama radu na godzinę, znajdujemy, że cały teraźniejszy wydatek słońce mógłby być pokryty przez promieniowanie  $2 \cdot 10^{27}$  gramów radu, czyli przez gram radu na tonnę masy słońca. Widzimy, że ilość wymaganej materji promieniotwórczej jest znaczna. Czy mamy jakie dane, któreby przemawiały za istnieniem takiej materji na słońcu

O niektórych zjawiskach, wskazujących na to, wspomnieliśmy wyżej. Niestety metody, stosowane w celu wykrywania promieni, wydzielanych przez ciała promieniotwórcze w przypadku ciał niebieskich, a więc i słońca, zawodzą, gdyż atmosfera ziemską dla tych promieniowań jest zupełnie nieprzezroczysta; jednakże nic nam nie przeszkadza jonizację powietrza przypisać nie tylko promieniom zafjolkowym, ale też promieniom  $\alpha$ . Pomyślniejsze wyniki daje analiza widmowa. Nie można wprawdzie stwierdzić obecności w atmosferze słońca radu, ale niektóre linje widma można zidentyfikować, jako linje toru i uranu, co obecność tych pierwiastków na słońcu czyni prawdopodobną, a na pewno stwierdzono tam obecność ołowiu.

Ale nie wystarcza sama obecność, decydujące znaczenie ma dla kwestji ilość. W tym względzie moż-

na zauważyć, że ciała promieniotwórcze są to pierwiastki o największym ciężarze atomowym, a więc też w procesie kontrakcyjnym słońca prawdopodobnie wyprzeźdzały inne pierwiastki w ich dążeniu ku środkowi. W takim zaś razie należałoby przewidywać, że procentowa zawartość pierwiastków promieniotwórczych na planetach wzrasta, im bliżej słońca znajduje się planeta, największa zaś jest na samym słońcu.

A gdybyśmy się ważyli na śmiałą hipotezę, że hel chromosfery i protuberancji słonecznych wytworzył się również z emanacji ciał promieniotwórczych, jak hel minerałów ziemskich, to wielka ilość helu na słońcu również przemawiałaby za obecnością na słońcu wielkich ilości ciał promieniotwórczych. Pozatem ta wielka ilość wytworzonego helu świadczyłaby o olbrzymich okresach czasu, w ciągu których się wytwarzał.

Gdybyśmy energję słońca uważali w głównej mierze za energję atomową ciał promieniotwórczych i przyjęli, że pomiędzy ilością energii, wydzielanej przez te ciała, a ilością wyprodukowanego helu na słońcu zachodzi ten sam stosunek, co na ziemi, to moglibyśmy obliczyć, ile helu wytwarza się rocznie na słońcu.

Z doświadczeń wypływa, że z grama radu wydzielą się rocznie  $0.14 \text{ cm}^3$  helu pod normalnem ciśnieniem atmosferycznem, który waży  $1/40$  milligrama. Energia, którą gram radu w tym samym czasie wypromieniowuje, wynosi  $177 \cdot 10^4$  kal. gr. Odpowiadają więc sobie wzajemnie produkcja 1 milligrama helu i produkcja  $7 \cdot 10^7$  kal. gr. ciepła. Ponieważ energia promienista, którą słońce traci rocznie, wynosi  $35 \cdot 10^{32}$  kal. gr., więc tej energii odpowiadałaby produkcja helu w ilości  $5 \cdot 10^{22}$  gramów.

Naturalnie przeważna część promieniowania słonecznego uchodzi w przestwór, więc też i z helu, który z cząsteczek  $\alpha$  mógłby się wytworzyć, tylko bardzo



nieznaczna ilość prawdopodobnie pozostaje na słońcu; ale niepodobna tej ilości nawet w przybliżeniu ocenić. W każdym razie widzimy, że, przyjmując promieniotwórczość słońca, musimy się liczyć z tem, że wydzielanie energji w tym razie jest połączone z rozpraszaniem materji w przestworzu, a więc ze zmniejszaniem się masy słońca. Powyższa liczba, określająca produkcję helu, może służyć jako liczba orientacyjna maksymalna dla ilości traconej rocznie materji. Wynosi ona jedną czterdziestomiljardową część masy słońca. Jest to ilość prawie 1600 razy mniejsza, aniżeli masa meteorów, które spaść by musiały w ciągu roku na słońce, aby ubytek energji pokryć, a zatem przez długie okresy czasu zmniejszanie się masy słońca za pomocą określeń ziemskich nie mogłoby być stwierdzone.

Można czynić wiele różnych kombinacji na temat stosunków, zachodzących na słońcu, biorąc za ich podstawę rozmaite mniej lub więcej dowolne założenia i przenosząc bez zmiany na słońce wnioski, wypływające z doświadczeń ziemskich; ale nie posuwałyby one naprzód rozwiązania zagadki energji słońca. Innego znowu rodzaju kombinacje opierać właśnie możemy na tem, że nie wiemy, czy i w jakiej postaci zjawiska nam znane zachodziłyby na słońcu, a więc w warunkach, których na ziemi wytworzyć nie jesteśmy w stanie.

Tak na przykład doświadczenia, robione nad wpływem temperatury na natężenie promieniowania radu, nie wykazały dostrzegalnego wpływu. Oczywiście nie wiemy, jak zachowywałby się rad w temperaturze wnętrza słońca, ale też nie możemy zaprzeczyć, że w tej temperaturze wiele ciał, które na ziemi nie zdradzają żadnych objawów promieniotwórczości, znajdować się może w tym stanie, co rad w temperaturach ziemskich.

Takie przypuszczenie znajduje się w zgodzie z zapatrywaniem fizyków, szczególnie angielskich, na istotę promieniotwórczości. Według tych poglądów



każdy atom składa się ze środkowego jądra, które stanowi cząsteczka  $\alpha$ , naładowana dodatnio, oraz z wielkiej ilości elektronów ujemnie naładowanych, okrążających cząsteczkę środkową. Są to pierwotne układy trwałe, ale trwałość ich zależy od prędkości elektronów ujemnych, która nie może spaść poniżej pewnej prędkości granicznej; podobnie bąk wirujący traci równowagę, gdy prędkość obrotu staje się zbyt małą.

Można sobie wyobrazić różne przyczyny, które wpływają na zmniejszanie się prędkości elektronów, połączone z przenoszeniem się energii do eteru kosmicznego w postaci na przykład drgań świetlnych. Wynikająca stąd, jako rezultat ostateczny, równowaga nietrwała w układzie elektronów, stanowiącym atom, objawia się, zdaniem tych uczonych, właśnie promieniotwórczością.

W ten sposób promieniotwórczość nie stanowiłaby własności kilku wyjątkowych pierwiastków, ale należałoby ją uważać za własność powszechną, jednakże objawiającą się w takich tylko warunkach, w których wewnątrz atomu równowaga staje się nietrwałą. Czy wysoka temperatura nie może tu być czynnikiem ważnym lub nawet decydującym, tego nie wiemy, ale nic też przeciwko takiemu przypuszczeniu nie przemawia.

Godząc się więc na takie stanowisko i wyciągając z niego najdalej sięgające konsekwencje, możemy przyjąć, że wszystkie pierwiastki w temperaturze słońca są promieniotwórcze, że słońce zatem zachowuje się, jak kula, utworzona z radu lub uranu.

W takim razie trzeba by też wnioskować, że hel jest częścią składową wszystkich atomów w ogóle, a więc podstawowym czynnikiem chemicznej budowy materji, jeśli nie samą pramaterją.

Co do przyszłości słońca z takiej koncepcji wypływałby wniosek, że z czasem w całości ono się rozleci na elektrony, ale okresy czasu, w których to nastąpi

są dostatecznie wielkie, abyśmy też, cofając się w przeszłość, nie musieli stosować oszczędności w ocenie czasu trwania epok geologicznych, ewolucji układu planetarnego i wieku słońca.

Ponieważ masa słońca wynosi  $2 \cdot 10^{33}$  gramów, a roczna produkcja helu przez promieniotwórcze słońce wynosiłaby przy założeniach znanych  $5 \cdot 10^{22}$  gramów, więc licząc, że wszystek ten hel w przestrzeni się rozprasza, doszlibyśmy do wniosku, iż gdyby słońce stale tak silnie promieniowało, jak obecnie, to trzeba by  $4 \cdot 10^{10}$ , t. j. 40 miliardów lat, aby się ono w postaci helu rozpuściło w przestrzeni.

Ale nie rozpuści się ono tak w całości z pewnością, ponieważ wiemy o innych słońcach, że gasną wskutek stygnięcia ich atmosfer. Nie chcemy już wyjaśniać, dlaczego tak dziać się może nawet w tym razie, gdyby prawdziwym było to wszystko, co wypływać może z hipotezy promieniotwórczości słońca, ponieważ zbyt już oddaliliśmy się od realnych podstaw wnioskowania i znaleźliśmy się w dziedzinie nieograniczonych możliwości, którym nikt zaprzeczyć stanowczo, ale których też nikt za zdobycz naukową uważać nie może.

## Zakończenie.

Zagadnienie energii słońca nierozwiązane.—Linje wytyczne przyszłych badań.—Streszczenie otrzymanych wyników.—Tajemnicze prazródło wszelkiej energii.—Wnioski praktyczne.

---

Dobiegliśmy do końca. Rezultat wszystkich starań, mających na celu rozwiązanie zagadki energii słonecznej, jest bardzo skromny. Pragnęliśmy rozwiązanie zagadki oprzeć na ścisłych danych naukowych i tylko ściśle z nich wyciągać wnioski, ale niestety tą drogą nie doszliśmy daleko. Tą drogą doszliśmy tylko do przeświadczenia, że oprócz tego, co wiemy, do rozwiązania zagadki należy poznać bardzo wiele rzeczy, o których nic, albo prawie nic nie wiemy. Wielkie pole badań stoi przed nami otworem, wiele ciekawych wyników należy się spodziewać od przyszłości.

Można wszakże chyba przypuścić, że główne linie wytyczne tych przyszłych badań zostały wskazane przez badania i wyniki dotychczasowe. Przedewszystkiem należy przyjąć za rzecz pewną, że energja, którą słońce wypromieniowuje, jest dla niego stracona bezpowrotnie, dalej zaś że ilość energii, którą słońce ze źródeł zewnętrznych otrzymuje, jest w porównaniu do tej, którą traci, znikoma. Skądkolwiek zatem pochodzi energja, nagromadzona na słońcu, ilekolwiek jej jest i w jakiejkolwiek objawia się postaci,—energja ta wskutek promieniowania słońca wyczerpywać się musi.

Następnie za rzecz pewną uważać można, iż z tym ubytkiem energii w ścisłym związku znajdują się wszystkie zmiany, jakim z biegiem czasu ulega słońce. Zmiany te są rozmaite i wiele procesów szybko, a nawet gwałtownie przebiegających stwierdza obserwacja. Zmiany te są przemijającym objawem procesów zwolna postępujących, całkujących niezliczone ilości zjawisk krótkotrwałych, i wytwarzających zmiany, obejmujące całość słońca, a dające się stwierdzić tylko przez porównanie jego stanu w dwóch odległych od siebie epokach czasu.

Zmiany te oznaczają kierunek ewolucji słońca. Procesu ewolucji słońca jednakże obserwować nie możemy z powodu jego wolnego tempa; przeciwnie stan słońca przez bardzo długie okresy czasu wydaje się niezmiennym. Jednakże skoro słońce energję traci, to samo już jest zmianą stanu słońca, któremu też towarzyszyć muszą inne, łatwiej dostrzegalne zmiany. W jaki sposób przebiega proces ewolucyjny słońca, pewne wskazówki w tym kierunku dają widma gwiazd, które są słońcami w najróżniejszych fazach ewolucji, od najwcześniejszych do najpóźniejszych. O dalszych poucza nas do pewnego stopnia nasza ziemia, która kiedyś również była słońcem w miniaturze.

Trwanie całego okresu ewolucyjnego zależy od ilości energii, która pierwotnie na słońcu była zgromadzona, i od prędkości, z jaką słońce tę energję traci. Co do tej prędkości, to wiele względów, a między innymi wzrost absorbcji w stygnącej atmosferze słońca, którego dowodzą widma, przemawia za tem, że jest ona zmienna i że od pewnego momentu stale maleje; z drugiej strony zmniejszanie się to jest tak powolne, że przez długie okresy czasu dla obserwatora ziemskiego natężenie promieniowania słońca wydaje się niezmiennem. Tak na przykład na podstawie stosunków klimatycznych ziemi w nowszych epokach geologi-



cznych, które nie były bardzo różne od dzisiejszych, możemy nabrać pewnego wyobrażenia o tempie procesu ewolucyjnego.

Z tego jednakże wnioskować tylko możemy, że czas, w ciągu którego słońce przechodzi przez wszystkie fazy swego stanu słonecznego, jest bardzo długi, i że zatem też bardzo wielki musiał być pierwotny zapas energii, nagromadzonej na słońcu, skoro dla jego wyczerpania się, przy wielkiej rozrzutności słońca, którą obecnie podziwiamy, potrzeba tak wielkiego okresu czasu, jakim jest okres ewolucji.

Jak długo trwa taki okres, tego nie wiemy. Jednakże możemy z pewnem prawdopodobieństwem wnioskować, ile ten okres conajmniej wynosić musi. Mianowicie historia ziemi i badania nad jej chronologią, różnemi drogami prowadzące do zgodnych wyników, a dalej uzasadnione poglądy na sprawę, jak wytworzył się nasz układ planetarny, każą wnioskować, że ewolucja słońca trwa już przynajmniej około miljar-  
da lat, ale zresztą trwa być może już kilka miliardów lat.

Gdy więc szukać mamy źródła energii słońca, to musimy szukać takiego źródła, któreby w ciągu miljar-  
da lat nie zostało wyczerpane. Z drugiej zaś strony pamiętać należy o tym mechanizmie przedziwnym, który reguluje ilość wydawanej energii nazewnątrz i dzięki któremu energia wydziela się właśnie tak powoli, że proces ewolucji trwa tak długo.

Sprawę tego mechanizmu możemy uważać za wyjaśnioną przynajmniej o tyle, że nie znamy faktów ani uzasadnionych argumentów, któreby z tem wyjaśnieniem znajdowały się w sprzeczności. Tłumaczymy go sobie stałym dążeniem do równowagi pomiędzy dośrodkowem, rozszerzającym działaniem ciepła, a odśrodkowem, kontrakcyjnem działaniem grawitacji.

Natomiast wyjaśnienie pochodzenia tego ciepła, albo mówiąc ogólniej, całej energii wewnętrznej słońca,

napotyka na wielkie trudności. Idea Mayera, że słońce jest zjawiskiem termodynamicznym, ujęta przez Helmholtza w tak prostą i tak przekonującą teorię energii słońca, okazała się niewystarczającą dla wyjaśnienia olbrzymich okresów istnienia słońca.

Nie ulega wątpliwości, że kurczenie się grawitacyjne słońca i przemiana energii potencjalnej ciężących ku sobie cząsteczek materji słonecznej zachodzi, ale to źródło energii słonecznej dostarcza tylko drobnego ułamka tej energii, którą słońce dotąd już utraciło.

Ten wniosek przykry jest szczególnie z tego względu, że, stojąc na stanowisku termodynamicznym, czuliśmy dość pewny grunt pod nogami i mogliśmy rozumowaniem teoretycznym wyciągać różne ciekawe wnioski z tego stanowiska, a rachunkiem dochodzić do dokładnych rezultatów liczbowych. Skoro wiemy dziś, że daleko większe znaczenie, niż energja ciężenia, w zjawisku słońca mają inne źródła energii, to grunt ten utraciliśmy, i jeżeli nawet niektóre wnioski teoretyczne zachowują swe znaczenie, to wyniki liczbowe wskazują tylko, że zagadnienie energii słońca nadal jest kwestją otwartą.

Zwróciliśmy się więc do innego znanego źródła energii, którem jest zachodzące między atomami różnych pierwiastków powinowactwo chemiczne. Ale i to źródło, pomimo założeń najdalej idących; okazało się ubogiem, znacznie nawet uboższem, aniżeli grawitacja, a więc w zjawisku promieniowania słońca również mającym tylko podrzędne znaczenie.

Gdzież więc jest to główne, to właściwe źródło energii słonecznej? Na to pytanie nauka długo nie była w stanie dać żadnej odpowiedzi, i gdyby mogła wierzyć w cuda, powiedziałaaby, że słońce jest cudem, a gdyby nie wykazała, że perpetuum mobile jest niemożliwe, przyznałaby, że chyba słońce jest perpetuum mobile.

W tym stanie sprawy, t. j. zupełnego impasu naukowego, błysnęła jakby iskierka nadziei. Poznano ciała, które bez żadnych zewnętrznych pobudek wydzielają z siebie energję stale i w ogromnej ilości. Badania skrupulatniejsze wykazały wprawdzie, co było do przewidzenia, że ten wyraz „stale“ należy zastąpić przez „bardzo długo“, ale co do tej wielkiej ilości wnioski poprzednie potwierdziły. Gdy bowiem gram mieszaniny wodoru i tlenu w stosunku, wymaganym przez reakcję chemiczną, łącząc się na wodę wydziela 3800 kal. gr., a tenże gram, spadając z nieskończoności na słońce pod działaniem jego przyciągania, wytworzyłby 45 milionów takichże kalorii, to gram radu wydziela z siebie aż  $133 \cdot 10^7$  kal. gr. Słońce więc, któreby traciło tyle energii, co nasze słońce, a utworzone było z płonącego wodoru, trwałoby tylko przez 2170 lat; gdyby zaś ciepło jego pochodziło od spadających na nie z nieskończoności ciał, świeciłoby przez 26 milionów lat, słońce wreszcie utworzone z radu promieniowałoby przez 760 milionów lat, — oczywiście wszystko w założeniu, że istnieje odpowiednie urządzenie, regulujące wydatek energii nazewnietrz.

Odkrycie tak bogatego źródła energii mogłoby usunąć wszystkie trudności naszego zagadnienia, gdyby można było wykazać, że w istocie energją słońca w przeważnej części pochodzi z tego samego źródła, co energją radu i innych ciał promieniotwórczych, albo jeszcze ogólniej energją, nagromadzona w atomach chemicznych i uwalniająca się w czasie ich rozpadania. Niestety tego wykazać nie można, natomiast można czynić rozmaite domysły i kombinować przeróżne możliwości.

Jedyne źródło energii, które jako ostatnia deska ratunku do wyjaśnienia pochodzenia energii słońca pozostało, samo jest jeszcze bardzo tajemnicze; być może nie jest ono bardziej tajemnicze, aniżeli grawitacja

lub powinowactwo chemiczne, ale wskazuje ono jeszcze na jakieś wielkie praźródło.

Skąd nagromadziły się te olbrzymie ilości energii w atomach pierwiastków promieniotwórczych, a jak się zdaje,—można to powiedzieć bez wielkiego ryzyka — w atomach prawie wszystkich pierwiastków?—oto jest zagadnienie fundamentalne. Gdy ono będzie rozwiązane, wtedy padnie też jaśniejsze światło na sprawę ewolucji materji i różniczkowania się jej,—procesów, które z procesem ewolucyjnym słońca znajdują się być może w ścisłym związku.

Więc ostateczny wynik wszystkich naszych rozważań jest ten, że o istotnem źródle energii słońca nie wiemy nic, a w każdym razie nie więcej, aniżeli o źródle energii, nagromadzonej w atomach pierwiastków chemicznych. Słońce i atom—tak zda się rzeczy różne z ludzkiego punktu widzenia, a jednak pod tym względem tak do siebie podobne, że i atom i słońce są siedliskiem ogromnych ilości energii, której pochodzenie zazdrośnie ukrywa przed nami przyroda.

Badawczy umysł człowieka nie zadowolili się tym wynikiem i dążyć będzie dalej do zrozumienia cudu. W istocie nowe zupełnie światło na zagadnienie energii słońca rzucają tak głośnie dzisiaj badania Einsteina, opierające się na zastosowaniu t. zw. rozszerzonej zasady względności.

Z badań tych wypływa, że masa ciała nie jest bynajmniej niezmienną; jest ona miarą zawartej w ciele energii i zmniejsza się, gdy ciało energję traci. Równoważnik energii, odpowiadający danej masie, jest olbrzymi, gdyż jest proporcjonalny do kwadratu prędkości światła, największej, jaka w przyrodzie zachodzić może. Wskutek tego wielkim ilościom traconej ener-



gi odpowiada tylko niewielki ubytek masy, którego stwierdzić nie można w krótkich okresach czasu, objętych badaniem ludzkim. Ale odwrotnie wynika stąd, jak olbrzymią jest ilość energii, którą reprezentuje masa słońca.

Jak widzimy, stałe, długotrwałe tracenie energii przez dane ciało z punktu widzenia teorii Einsteina skończyć się musi jego dematerjalizacją. Jest to wniosek jeszcze dalej idący, aniżeli ten, do którego prowadzi hipoteza powszechnej promieniotwórczości, i może w istocie zawiera odpowiedź na zagadkę energii słońca. Ale gdyby nawet tak było rzeczywiście, nie uwolniłoby to nas jeszcze od badania warunków, w których takie wydzielanie się energii, równoznaczne z dematerjalizacją ciał, zachodzić może i jakim podlega prawom, od których zależy przebieg procesu ewolucyjnego słońca i innych ciał niebieskich.

Nie uprzedzając wyników, do których badania przyszłe doprowadzą, sądzimy, że niektóre wnioski, do których doszliśmy już obecnie, mogą mieć nawet pewną wartość praktyczną, gdy chodzi o spokój tych, których obchodzą przyszłe losy nie tylko ich własne, ale też przyszłych pokoleń, losy narodu i całej ludzkości.

Wystarczy w tym celu stanąć na stanowisku teorii Helmholtza i zgodzić się na tych skromnych pięć milionów lat, w ciągu których na promienowanie słońcałożyłaby w dostatecznym stopniu grawitacja, bez pomocy jakichkolwiek innych źródeł.

Szybko zapominamy o rzeczach minionych, a kilkadziesiąt wieków historii wydaje się nam okresem długim. Mogą interesować historyka dzieje starożytnych sumeryjczyków lub egipcjan, ale nie wielu chyba jest takich, co martwiliby się losem tych, którzy za kilka tysięcy

lat zajmować będą nasze miejsce na ziemi. Jednakże i tych możemy pocieszyć, że słońce będzie wtedy świeciło tak samo, jak dzisiaj świeci.

A więc dla tych wniosków praktycznych wszystko jedno, czy pięć milionów, czy pięć miliardów lat jeszcze słońce świecić będzie; w wszechświecie zaś, gdzie miliony słońc powstają i giną, słońca te, a pośród nich i nasze słońce, nie mają większego znaczenia, niż powstające i rozpadające się atomy.

---

# TREŚĆ ROZDZIAŁÓW

## ROZDZIAŁ I.

Str.

Wstęp. — Cyrkulacja powietrza. — Cyrkulacja wody. — Procesy życiowe — Akumulatory energii słonecznej. — Magnetyzm ziemski. — Zjawiska wulkaniczne i trzęsienia ziemi. — Ciała promieniotwórcze. . . . .

1

## ROZDZIAŁ II.

Promienie słońca. — Dyspersja. — Widmo. — Część widma przedczerwona, optyczna i zafioletkowa. — Ilościowe badanie energii słońca. — Aktynometria. — Zestawienie niektórych potrzebnych liczb. . . . .

17

## ROZDZIAŁ III.

Fotometria słońca. — Stała słoneczna. — Ilość energii, którą od słońca otrzymuje ziemia, — Ilość energii, którą wysyła słońce. — Temperatura słońca.

29

## ROZDZIAŁ IV.

Zagadnienie energii słońca w postaci ogólniejszej. — Zapas wewnętrznej energii słońca; hipotezy orientacyjne. — Hypoteza pożaru i poglądy K a n t a. — Dyssocjacja chemiczna na słońcu

44

## ROZDZIAŁ V.

Hypoteza wewnętrznych źródeł energii. — Warunek procesów ewolucyjnych. — Dwa możliwe przypadki takich procesów. — Energja gwiazd stałych; stała gwiazdowa. — Energja meteorów. — Hypoteza Roberta Mayera, jako pierwsza próba zastosowania termodynamiki do zjawiska słońca. . . . .

55

## ROZDZIAŁ VI.

Str.

Obszerniejsze określenie pojęcia słońca i początku słońca. — Ewolucja słońca na podstawie badań widmowych. — Koncentracja, stygnięcie, różniczkowanie się chemiczne materji — Energia grawitacyjna słońca. — Hypoteza Helmholtza. — Badania teoretyczne Thomsona i Rittera — Wnioski. . . . .

66

## ROZDZIAŁ VII.

Oddzielanie się planet od mgławicy słonecznej. — Wiek ziemi i słońca. — Energia grawitacyjna jest tylko częścią energii słońca. — Energia powinowactwa chemicznego — Energia tworzenia się atomów. . . . .

## ROZDZIAŁ VIII.

Ciepło ziemi i jego pochodzenie — Promieniotwórczość. — Ciała promieniotwórcze na ziemi. — Ciała promieniotwórcze na słońcu. — Hypoteza promieniotwórczości powszechnej. — Wnioski, dotyczące energii słońca . . . . .

93

## ZAKOŃCZENIE.

Zagadnienie energii słońca nierozwiązane. — Linje wytyczne przyszłych badań. — Streszczenie otrzymanych wyników. — Tajemnicze praźródło wszelkiej energii — Wnioski praktyczne. . . . .

105

